



金屬製品製造業

產業用水最適化及 節水技術指引



目 錄

	頁次
第一章 產業概況說明	1
一、 產業特性	1
二、 製程特性	5
(一) 金屬刀具、手工具及模具製造業	5
(二) 金屬結構及建築組件製造業	5
(三) 金屬容器製造業	6
(四) 金屬加工處理業	7
三、 主要用水標的與用水情形	8
第二章 水利三法相關子法、辦法事宜	9
一、 用水計畫審核管理辦法	9
二、 工業區用水管理機制-經濟部工業局產業園區用水管理作業原則	10
三、 再生水用於工業用途水質基礎建議值	10
第三章 用水最適化及回收再利用技術	13
一、 製程用水最適化及回收再利用技術	13
(一) 用水最適化	14
(二) 水回收技術	16
二、 冷卻用水最適化及回收再利用技術	22
(一) 用水最適化	22
(二) 水回收技術	26
三、 鍋爐用水最適化及回收再利用技術	33
(一) 用水最適化	33
(二) 水回收技術	35
四、 放流水回收再利用技術	37
(一) 水回收技術	37
五、 其他水回收技術	39
(一) 生活用水減量	39
(二) 廠內用水管理	39
(三) 雨水貯留供水系統	40
(四) 區域水資源整合	42
(五) 裝設連續監測系統	43
六、 小結	44
第四章 水回收再利用案例介紹	45

一、 案例 A 廠簡介	45
(一) 案例廠簡介	45
(二) 製程流程	45
(三) 廠內用水管理情形	46
(四) 用水效率提升方案	47
(五) 成本效益分析	49
二、 案例 B 廠簡介	51
(一) 案例廠簡介	51
(二) 製程流程	51
(三) 廠內用水管理情形	52
(四) 用水效率提升方案	53
(五) 成本效益分析	55
第五章 參考文獻	57

圖 目 錄

	頁次
圖 1 金屬製品製造業生產價值百分比比例圖	4
圖 2 手工具製造流程圖	5
圖 3 金屬建築結構及其組件製造業製造流程圖	6
圖 4 金屬加工處理業流程圖（以金屬表面處理為例）	7
圖 5 金屬製品製造業用水結構分析圖	8
圖 6 金屬製品製造業製程廢水水質特性	13
圖 7 製程用水最適化及水回收技術	14
圖 8 多段逆流清洗法示意圖	15
圖 9 纖維過濾系統原理示意圖	16
圖 10 砂濾過濾系統原理示意圖	17
圖 11 離子交換樹脂系統原理示意圖	18
圖 12 各種濾膜去除物質比較圖	19
圖 13 微過濾薄膜設備圖	19
圖 14 超過濾薄膜設備圖	20
圖 15 奈米過濾薄膜設備圖	20
圖 16 逆滲透薄膜設備圖	20
圖 17 冷卻用水最適化及水回收技術	22
圖 18 濃縮倍數與排放損失關係圖	23
圖 19 冷卻水塔加藥示意圖	24
圖 20 冷卻水塔防飛濺防護設備圖	25
圖 21 冷卻水塔蒸發回收系統圖	26
圖 22 消霧節水冷卻水塔設備圖	27
圖 23 旁流過濾處理系統示意圖	28
圖 24 陶瓷球水處理理論圖	30
圖 25 陶瓷球水處理設備圖	30
圖 26 電透析薄膜處理系統原理示意圖	31
圖 27 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統脫鹽技術原理比較圖	32
圖 28 鍋爐用水最適化及水回收技術	33
圖 29 開放式冷凝水回收系統示意圖	35
圖 30 密閉式冷凝水回收系統示意圖	36
圖 31 放流水回收技術圖	37
圖 32 其他水回收技術	39

圖 33 雨水回收流程圖	40
圖 34 區域水資源整合型態示意圖	42
圖 35 監測連線傳輸設置圖	43
圖 36 案例 A 廠製造流程圖	45
圖 37 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施前)	46
圖 38 案例 A 廠用水平衡圖 (方案實施後)	48
圖 39 案例 B 廠製造流程圖	51
圖 40 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施前)	52
圖 41 案例 B 廠用水平衡圖 (方案實施後)	54

表 目 錄

	頁次
表 1 金屬製品製造業類別及定義表	1
表 2 產業園區用水管理作業原則摘要表	10
表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表	11
表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表	11
表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值表	12
表 6 纖維過濾系統經費分析表	16
表 7 砂濾過濾系統經費分析	17
表 8 離子交換樹脂系統經費分析	18
表 9 各薄膜過濾特性比較分析表	21
表 10 逆滲透濾膜系統經費分析表	21
表 11 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表	23
表 12 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表	27
表 13 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收之成本分析表	27
表 14 纖維過濾與傳統砂濾比較表	29
表 15 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例表	32
表 16 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較表	36
表 17 倒極式電透析系統經費分析	37
表 18 超膜過濾加逆滲透薄膜處理系統經費分析	38
表 19 雨水處理設備與使用程度關係表	41
表 20 雨水截流系統設計值表	41
表 21 金屬製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整表	44
表 22 放流水水質報告表	47
表 23 水回收設施經費分析表	49
表 24 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	49
表 25 水回收方案實施前後水回收率變化表	50
表 26 水回收設施經費分析表	55
表 27 水回收方案實施前後用水量及費用比較表	55
表 28 水回收方案實施前後水回收率變化表	56

第一章 產業概況說明

一、產業特性

根據行政院主計處所公告之「中華民國行業標準分類」(105年1月)，金屬製品製造業為從事金屬刀具、手工具、金屬模具、金屬結構及建築組件、金屬容器、金屬加工處理及其他金屬製品製造之行業，依行業標準分類別可細分如表 1 所列。另依經濟部統計處資料顯示，107 年金屬製品製造業產值約為新台幣 8,052.9 億元，因未分類其他金屬製品製造業種類繁多，若扣除該項占比，以金屬表面處理業為最大生產比例，合計約占金屬製品製造業產值 18.8%，生產價值百分比如圖 1 所示（經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018）。

金屬製品製造業為各種消費性產品、建築工具和用材的上游，接續在金屬基本工業（包括鋼鐵、鋁、銅、鎂等金屬基本工業）之後，主要製造電子與半導體、運輸工具、家電產品、事務機器、鐘錶儀器及其他五金等相關產品之基本零組件，依產品特性可區分為金屬手工具、金屬模具、金屬結構及建築組件、金屬容器、金屬加工處理及其他金屬製品等（勞動部，行業指南目錄-金屬製品製造業，2016）

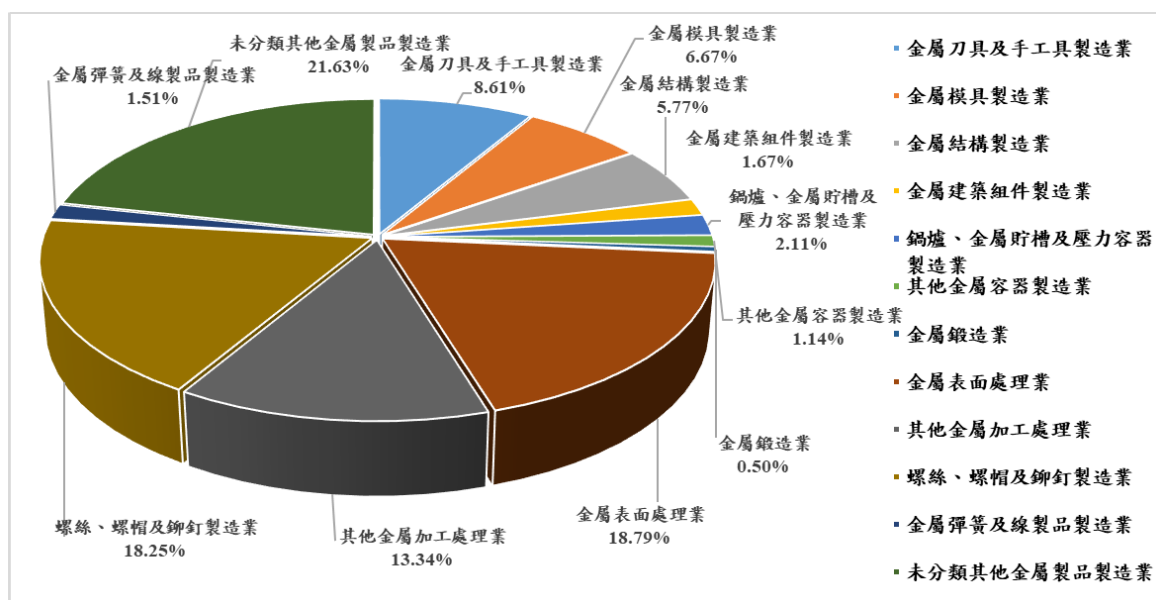
表 1 金屬製品製造業類別及定義表

分類編號				行業名稱及定義
大類	中類	小類	細類	
C	25			金屬製品製造業 從事金屬刀具、手工具、金屬模具、金屬結構及建築組件、金屬容器、金屬加工處理及其他金屬製品製造之行業。 不包括： 金屬家具製造歸入 3220 細類「金屬家具製造業」。 貴金屬製品製造歸入 3391 細類「珠寶及金工製品製造業」。 產業用金屬機械設備維修歸入 3400 細類「產業用機械設備維修及安裝業」。 家用金屬製品維修歸入 9599 細類「未分類其他個人及家庭用品維修業」。
		251		金屬刀具、手工具及模具製造業 從事金屬刀具、手工具及模具製造之行業。
			2511	金屬刀具及手工具製造業 從事金屬刀具、手工具及裝配於手工具或工具機之可更換工具製造之行業，如刀、鋸、螺絲起子、虎頭鉗、扳手、耙、鋤、鑽頭、沖床沖頭、銑刀等製造；金屬湯匙、叉子、鎖具及鑰匙之製造亦歸入本類。 不包括： 金屬鍋、碗、碟、盤等製造歸入 2599 細類「未分類其他金屬製品製造業」。 動力手工具製造歸入 2938 細類「動力手工具製造業」。 貴金屬刀具製造歸入 3391 細類「珠寶及金工製品製造業」。
			2512	金屬模具製造業 從事金屬模具製造之行業，如鑄造模具、壓鑄模具、沖壓模具、鍛造模具等製造。
		252		金屬結構及建築組件製造業

分類編號			行業名稱及定義
			從事金屬結構及建築組件製造之行業。 不包括： 建築鋼筋製造歸入 2413 細類「鋼鐵軋延及擠型業」。
		2521	金屬結構製造業 從事營造用金屬結構製造之行業，如金屬結構、金屬橋段、金屬樑柱、金屬帷牆等製造。 不包括： 金屬貯槽製造歸入 2531 細類「鍋爐、金屬貯槽及壓力容器製造業」。 金屬船體製造歸入 3110 細類「船舶及浮動設施製造業」。 從事建築及土木工程之金屬結構組裝歸入 F 大類「營建工程業」之適當類別。
		2522	金屬建築組件製造業 從事金屬建築組件製造之行業，如金屬門窗及其框架、金屬欄杆、金屬樓梯、輕鋼架等製造。 不包括： 移動式金屬梯製造歸入 2599 細類「未分類其他金屬製品製造業」。
	253		金屬容器製造業 從事鍋爐、金屬貯槽、壓力容器及其他金屬容器製造之行業。
		2531	鍋爐、金屬貯槽及壓力容器製造業 從事鍋爐、固定裝設於場所單位供貯存或生產等用途之金屬貯槽、壓縮或液化氣體之金屬容器製造之行業；核子反應器及鍋爐附屬裝置，如冷凝器、節煤器、蒸汽收集器、散熱器等製造亦歸入本類。 不包括： 金屬桶、罐、箱、筒、盒製造歸入 2539 細類「其他金屬容器製造業」。 同位素分離器製造歸入 2926 細類「化工機械設備製造業」。 鍋爐渦輪機組製造歸入 2931 細類「原動機製造業」。 產業通用散熱器製造歸入 2939 細類「其他通用機械設備製造業」。 汽車散熱器製造歸入 3030 細類「汽車零件製造業」。 鍋爐、金屬貯槽及壓力容器維修歸入 3400 細類「產業用機械設備維修及安裝業」。
		2539	其他金屬容器製造業 從事 2531 細類以外金屬容器製造之行業，如金屬桶、罐、箱、筒、盒等製造。 不包括： 金屬貯槽及壓力容器製造歸入 2531 細類「鍋爐、金屬貯槽及壓力容器製造業」。 保險櫃（箱）及金屬鍋、碗、碟、盤、浴缸及臉盆等製造歸入 2599 細類「未分類其他金屬製品製造業」。 貨櫃製造歸入 3020 細類「車體製造業」。
	254		金屬加工處理業 從事金屬鍛造、粉末冶金、金屬熱處理、金屬表面處理及其他金屬加工處理之行業。
		2541	金屬鍛造業 從事以鍛造加工方式製造金屬鍛品之行業，如鋼鐵鍛品、鋁鍛品、銅鍛品、鎂合金鍛品等鍛造。
		2542	粉末冶金業 從事金屬粉末衝壓燒結製成元件之行業。 不包括： 金屬粉末製造歸入 24 中類「基本金屬製造業」之適當類別。
		2543	金屬熱處理業 從事以滲碳、滲氮、化學蒸鍍或物理蒸鍍等進行金屬及其製品表面處理，或以淬火、退火、回火等方式，並藉溫度、氣體及時間等控制，改善其組織或物理性質之行業。

分類編號			行業名稱及定義
		2544	金屬表面處理業 從事金屬及其製品之表面磨光、電鍍、鍍著、塗覆、烤漆、噴漆、染色、壓花、發藍、上釉及其他化學處理之行業；塑膠製品表面電鍍亦歸入本類。
		2549	其他金屬加工處理業 從事 2541 至 2544 細類以外金屬加工處理之行業，如裁剪、焊接等加工處理。
		259	其他金屬製品製造業 從事 251 至 254 小類以外金屬製品製造之行業，如螺絲、螺帽、鉚釘、金屬彈簧、金屬線製品及其他金屬製品製造。
		2591	螺絲、螺帽及鉚釘製造業 從事有、無螺紋之金屬緊固件製造之行業，如梢、釘、鉚釘、螺帽、螺栓、螺絲、螺旋鉤、墊圈（華司）等製造。 不包括： 塑膠緊固件製造歸入 2209 細類「其他塑膠製品製造業」。
		2592	金屬彈簧及線製品製造業 從事金屬彈簧及金屬線（絲）加工製品製造之行業，如彈片、葉片彈簧、扭轉彈簧、渦形彈簧、螺旋彈簧、縫針、迴紋針、釘書針、金屬鉤針、圖釘、金屬髮夾、金屬衣架、刺鐵絲網、鋼鐵鏈等製造。 不包括： 鐘錶用彈簧製造歸入 2752 細類「鐘錶製造業」。 電線及電纜製造歸入 2831 細類「電線及電纜製造業」。 動力傳動鏈製造歸入 2934 細類「機械傳動設備製造業」。
		2599	未分類其他金屬製品製造業 從事 2591 及 2592 細類以外其他金屬製品製造之行業，如金屬鍋、碗、浴缸及臉盆、永久性磁鐵、武器及彈藥、保險箱、瓶蓋、徽章等製造。 不包括： 火藥製造歸入 1990 細類「未分類其他化學製品製造業」。 金屬刀叉及湯匙製造歸入 2511 細類「金屬刀具及手工具製造業」。 衛浴設備用金屬活栓及活閥製造歸入 2933 細類「泵、壓縮機、活栓及活閥製造業」。 金屬家具製造歸入 3220 細類「金屬家具製造業」。 金屬體育用品製造歸入 3311 細類「體育用品製造業」。 金屬玩具製造歸入 3312 細類「玩具及遊戲機製造業」。 金屬樂器製造歸入 3313 細類「樂器製造業」。 金屬文具製造歸入 3314 細類「文具製造業」。 金屬醫療器材及用品製造歸入 332 小類「醫療器材及用品製造業」之適當細類。 金屬錶帶製造及錢幣鑄造歸入 3391 細類「珠寶及金工製品製造業」。 金屬拉鍊及鈕扣製造歸入 3392 細類「拉鍊及鈕扣製造業」。

（資料來源：行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016）



(資料來源：經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018)

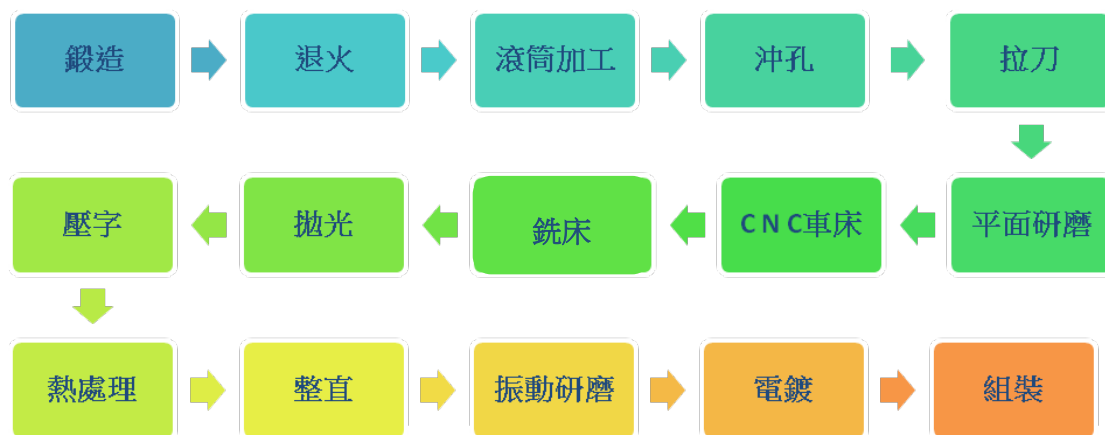
圖 1 金屬製品製造業生產價值百分比例圖

二、製程特性

本小節將針對金屬製品製造業中，包括金屬刀具、手工具及模具製造業、金屬結構及建築組件製造業、金屬容器製造業及金屬加工處理業等分別概述其製程特性。

(一) 金屬刀具、手工具及模具製造業

金屬製品的製造過程，通常是由材料精煉，繼之以初步的加工，如鑄造或鍛造等，使其成為合乎所要求的形狀及尺寸。以手工具製造流程為例，將區分為鍛造、退火、滾筒加工、沖孔、拉刀、壓字、拋光、銑床、CNC車床、平面研磨、熱處理、整直、振動研磨、電鍍、組裝。

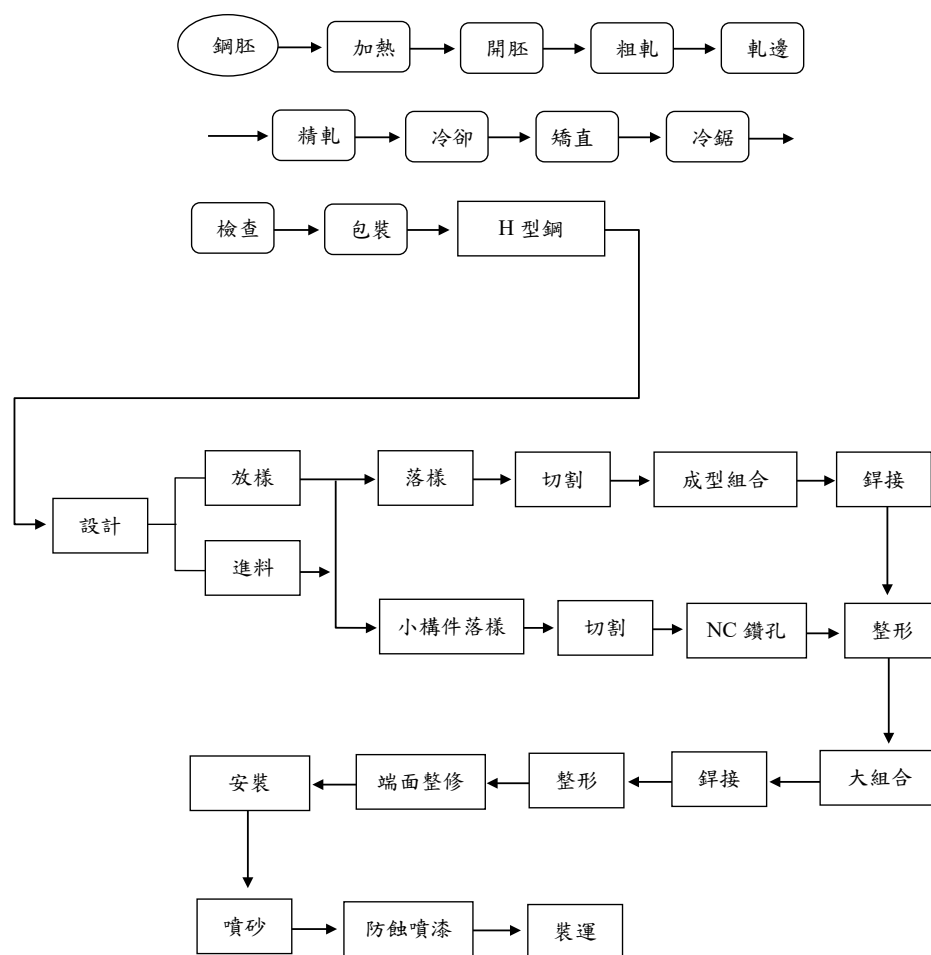


(資料來源：承蒲實業，2016)

圖 2 手工具製造流程圖

(二) 金屬結構及建築組件製造業

本行業為內需型產業，主要是應用在以營造業為主的下游產業，從事如金屬門窗及其框架、金屬欄杆、金屬樓梯、輕鋼架等製造，有關其製造流程如圖 3 所示，透過放樣、切割焊接等作業，生產製造相關建築用金屬製品。



(資料來源：勞動部，安全衛生自主管理輔導手冊，2006)

圖 3 金屬建築結構及其組件製造業製造流程圖

(三) 金屬容器製造業

金屬容器製造業之產品以金屬包裝容器 (如飲料瓶、罐頭等) 為主，另外鍋、固定裝設於場所單位供貯存或生產等用途之金屬貯槽、壓縮或液化氣體之金屬容器及鍋爐附屬裝置 (如冷凝器) 等也都算是，生產流程概分為金屬機械加工、熱處理、金屬表面處理等階段 (勞動部，行業指南目錄，2016)。

在金屬製程中，沖裁是利用沖模使材料分離的一種沖壓技術，包括落料、沖孔、切口、剖切和修邊等工藝，一般情況下，往往指落料和沖孔。此技術可直接把材料製成零件，又可以為彎曲、拉深和成型等工序做準備。從材料上沖下所需形狀的零件或毛坯，稱為落料，在工件上沖出所需形狀的孔則為沖孔 (金屬容器基本製造工藝冷沖壓技術，百度文庫)。

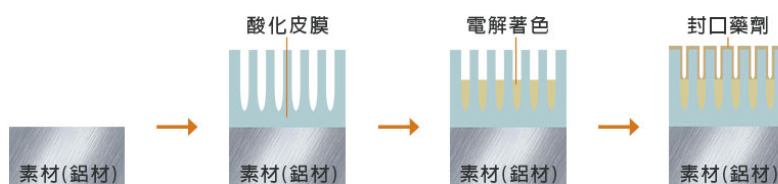
(四) 金屬加工處理業

由於金屬加工處理涵蓋作業多樣，舉凡金屬鍛造、粉末冶金、金屬熱處理、金屬表面處理等皆為本處理業，針對金屬加工處理製程特性，本小節以陽極處理作業為代表，進行相關製程特性敘述。

陽極處理（**Anodizing**）又稱為『裝飾性陽極處理』，是指利用電化學方法，將工件（金屬或合金）充為陽極，施以電解氧化處理，使形成具有密著性的氧化層於底材的表面程序（祐鋒實業股份有限公司）。

一般鋁合金很容易氧化，氧化層雖有一定鈍化作用，但經長期曝露氧化層仍會剝落，喪失保護作用，因此陽極處理的目的在防止鋁材進一步氧化，同時增加表面的機械性質並且藉不同化成處理（用化學或電化學處理金屬表面得到金屬化合物的覆層），形成顏色具有多樣變化之成品，是一般性陽極處理的特點（祐鋒實業股份有限公司）。

一般常見陽極處理流程如圖 4 所示，透過脫脂、水洗、鹼洗、陽極酸化等流程，進行處理作業，於金屬製品製造業中，屬於高用水作業，為本業別節水重點作業之一。



陽極處理-處理圖示



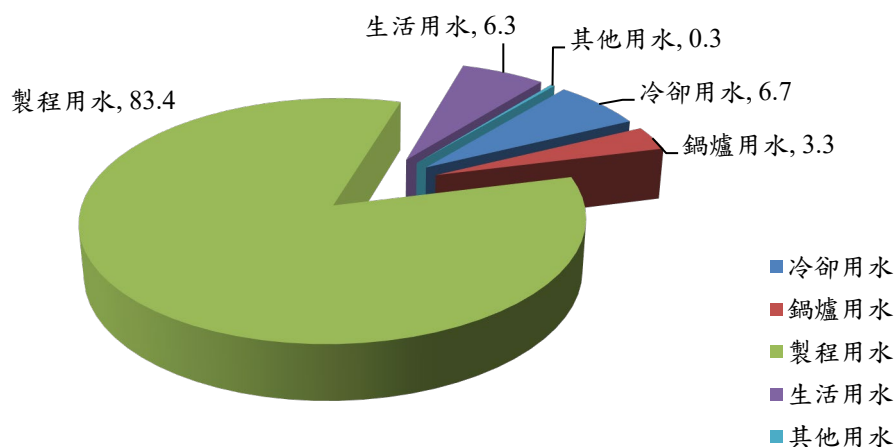
陽極處理-生產流程圖

（資料來源：勝群金屬股份有限公司）

圖 4 金屬加工處理業流程圖（以金屬表面處理為例）

三、主要用水標的與用水情形

根據經濟部水利署 106 年工業用水統計報告中提出，金屬製品製造業全國占地面積為 3,482.64 公頃，其年用水量可達 117.08 百萬立方公尺（經濟部水利署，工業用水量統計報告，2017）。金屬製品製造業用水結構可分為五大類，分別為製程用水、冷卻用水、鍋爐用水、生活用水及其他用水等。根據統計資料顯示，由於金屬加工處理中表面處理業如：鍍著、表面處理等作業，往往需要耗用較多水源進行作業處理，因此以製程用水使用水量占最大用水項目，製程用水比例可高達 83.4%，用水結構分析如圖 5 所示（經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）。



（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

圖 5 金屬製品製造業用水結構分析圖

第二章 水利三法相關子法、辦法事宜

節水三法包括再生水資源發展條例（以下稱再生水條例）、水利法，及自來水法等，陸續於 104 年訂定或 105 年修正並完成公告，相關子法修正包括用水計畫審核管理辦法中規定工業區需補提用水計畫及「再生水用於工業用途水質基礎建議值」訂定等法令，對產業影響較大，因此，茲就上述相關水利法令及工業區研擬之用水管理機制進行說明。

一、用水計畫審核管理辦法

依據水利法第 54-3 條第 6 項規定，除農業用水外，經目的事業主管機關核定之開發行為實際用水量達一定規模，且未提出用水計畫者，中央主管機關得令開發單位或用水人限期提出用水計畫。「用水計畫審核管理辦法」業經多次協商，經濟部 107 年 6 月 28 日公告修正完成。

主要依水利法第 54 條之 3 第 6 項規定，開發行為前一年度實際用水量達 3,000 CMD (Cubic Meter per Day，簡稱 CMD) 以上之園區型態開發行為，如現況存續之原開發單位不具用水管理權責者，以達一定規模 (300 CMD 以上) 之區內用水人共同委託原開發單位，且與其並列為開發單位之模式共 23 座工業區分階段提出用水計畫；已完成或提送中工業區包括雲林科技工業區、台南科技工業區、彰濱工業區共 3 座工業區；另用水量未達 3,000 CMD 或已達 3,000 CMD 以下工業區共 29 座，暫不需補提工業區用水計畫。

應辦理補提之工業區，依用水量大小分 3 階段進行提送，各階段辦理期程如下說明：

1. 第 1 階段(108.06)：用水量達 30,000 CMD 以上工業區，雲林離島式、觀音、新竹、中壢、林園、臨海及龍德等 7 座工業區。
2. 第 2 階段(108.12)：用水量達 10,000~30,000 CMD 工業區，共 9 座工業區。
3. 第 3 階段(109.06)：用水量達 3,000~10,000 CMD 工業區，共 7 座工業區。

二、工業區用水管理機制-經濟部工業局產業園區用水管理作業原則

為有效管理區內用水人之用水暨合理調度水資源，管理機構應檢視用水人需求與水資源供給能相互配合且符合節約用水政策，並針對核定之用水計畫實際用水進行管理，以達《用水總量管制目標》。依據《用水計畫審核管理辦法》第六條「用水計畫經核定後，開發單位應於用水計畫之各年度計畫用水量範圍內，依總量管制原則自行調度分配及管理區內個別用水人之用水...」。因此，針對園區內已有/補提用水計畫之工業區，研擬產業園區用水管理機制，希冀後續能準確掌握園區用水情形，達到用水彈性調配，並符合多元化之用水需求。

本原則參考本部水利署訂定之《用水計畫審核管理辦法》制定，全文共計 **13** 點，各點訂定原則摘要如表 2 所列，本原則主要規範對象為新設或既設用水人，其計畫用水量或增加用水量達 **100 CMD** 以上，且針對受規範之用水人，除於條文中明訂每年 **3 月 1 日** 及 **9 月 1 日**，依管理機構指定之申報方式，申報上半年現況用水情形外，對於後續之查核機制、供水調度及裁罰機制等亦詳列於條文中，希冀透過本原則之擬訂，可強化區內穩定供水之目標。

表 2 產業園區用水管理作業原則摘要表

經濟部工業局產業園區用水管理作業原則摘要
(第一點) 本要點訂定主旨
(第二點、第三點) 管理對象及用水計畫提送流程
(第四點、第六點及第七點) 管理機構調度分配及管理區內用水人事項
(第五點、第九點及第十點) 審核用水計畫之相關作業規範
(第八點、第十一點、第十二點) 用水人用水狀況查核申報之相關作業規範
(第十三點) 用水人未依規定辦理之處理方式

本原則業於 **20190515** 依經濟部工業局令 (工地字第 **10800465112** 號) 正式公告，本 (**108**) 年將針對已有全區用水計畫之工業區 (彰濱、雲科工、台南科技) 辦理園區用水管理，後續將根據各工業區用水計畫核定時程進行區內用水管理，以利後續園區用水總量管制。

三、再生水用於工業用途水質基礎建議值

再生水水質標準之訂定乃考量產業工業製程及各類用途相異，需求之水質標準不一，為找尋一平衡點，依照工業用途將再生水水質分為 **Class A, B, C** 三級，依照用水單元評估用水水質所需要增設之水再生設施與處理單元，分級方向及應用方向建議參考表 3，各級用水建議值列於表 4。

表 3 再生水用於工業用途分級水質應用方向表

項目	再生水品質	標的用途	建議處理程序	水質規格
Class A	最高	高階工業用水 鍋爐給水	過濾+微濾/超濾+逆滲透+消毒程序	幾可達飲用水標準及工業高階用水品質程度
Class B	次之	工業冷卻水系統之系統水	過濾+微濾/超濾+消毒程序	可達工業冷卻用水品質程度
Class C	再次之	工業用水	過濾+消毒程序	

（資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016）

表 4 再生水用於工業用途分級水質建議值表

水質參數	Class A	Class B	Class C
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
濁度 (NTU)	2	2	2
色度	5	10	10
臭味/外觀	無不舒適感	無不舒適感	無不舒適感
BOD ₅ (mg/L)	-	-	最大限值 15 以下且連續 7 日平均限值 10 以下（以生活污水為水源）
COD (mg/L)	-	30	
TOC (mg/L)	0.5		
總溶解固體物 (mg/L)	100	800	
電導度 (μS/cm)	250	-	
氨氮 (mg/L)	0.5	5	5
硝酸鹽氮 (mg/L)	15		
總硬度 (mg/L as CaCO ₃)	50	400	850
硝酸鹽類 (mg/L)	5		
氟化物 F ⁻ (mg/L)	0.5		
氯化物 Cl ⁻ (mg/L)	20		
二氧化矽 (mg/L)	3		
總三鹵甲烷 (mg/L)	0.08		
餘氯 (mg/L)	2	1	結合餘氯：0.4 自由餘氯：0.1
大腸桿菌群 (CFU/100mL)	不得檢出	10	
總菌落數 (CFU/100mL)	不得檢出		
硼 B (mg/L)	0.5		
鐵 Fe (mg/L)	0.04		
錳 Mn (mg/L)	0.05		
鈉 Na (mg/L)	20		
鋁 Al (mg/L)	0.1		
鋇 Ba (mg/L)	0.1		
鈣 Ca (mg/L)	4		
銅 Cu (mg/L)	0.05		
鋅 Zn (mg/L)	0.1		
銻 Sr (mg/L)	0.1		

（資料來源：經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016）

因應「再生水資源發展條例」於 104 年 12 月 30 日通過實施，訂定子法「再

生水水質標準及使用遵行辦法」規範國內再生水基礎水質標準，為順利推動國內再生水示範案，且再生水以工業用水主要用途，產業使用用途不同，用水端對於水質項目及標準也有不同的需求，為縮短未來再生水經營業與需水端協商時程，儘速達成共識，水利署經多次開會協商訂定再生水供應各類工業用途水質建議值，於 107 年 6 月 28 日經授水字第 10720208640 號公告，如表 5 所列。

表 5 再生水用於工業用途水質基礎建議值表

項目	單位	建議最大容許量		
		製程用水	鍋爐用水	冷卻用水
pH	-	6.0~8.5	7.0~9.0	6.0~8.5
濁度	NTU	2		4
總有機碳 (TOC)	mg/L	5		10
總溶解固體 (TDS)	mg/L	150		500
導電度	μS/cm	250		800
總硬度	mg/L as CaCO ₃	50		400
氯鹽	mg/L	20		-
硫酸鹽	mg/L	50		250
氨氮	mg/L	2		10
硝酸鹽氮	mg/L	10		-
二氧化矽	mg/L	-		25

備註：

1. 本基礎建議值之擬訂，係以供製程及鍋爐用水之原水，並近似自來水水質為原則。
2. 本建議值所列水質項目與數值僅作為再生水供需媒合協商之參考基礎，不限於此，若使用者另有特殊處理程序、水質項目與數值之需求，應另行協商制定之。
3. 本基礎建議值所指各類工業用水用途，其定義係參照經濟部經授水字第 10620211140 號令，「用水計畫書件內容及格式」之附件四、用水平衡圖繪製說明，說明如下：
 - (1) 製程用水：指作為原料的水或製造過程中原料或半成品進行化學反應或物理作用所需的水。同時亦包括作為原料、半成品與成品、機具、設備等與生產有關之清洗用水等，均可歸納為製程用水。
 - (2) 鍋爐用水：指提供生產、加熱或發電所需蒸氣，在鍋爐內進行汽化所使用的水稱之，包括鍋爐給水與鍋爐水處理用水等。
 - (3) 冷卻用水：指吸收或轉移生產設備、製品多餘熱量，或維持正常溫度下工作所用之水。可區分為：直接冷卻用水係指被冷卻物表面直接與水接觸達到冷卻效果；間接冷卻用水係指經過熱交換器而間接達到冷卻效果。另外空調用水係指工作場所或製程中所需溫、濕度控制調節之用水，亦歸類為間接冷卻用水的一種。
4. 本建議值僅作為各項工業用水用途之原水水質參考，使用者取得此原水後，應依據各類用水單元水質需求，另行預處理之，如製程用水可再經純化處理，鍋爐用水則需經軟化處理，並符合 CNS10231B1312 鍋爐規章（鍋爐給水與鍋爐水水質標準）。
5. 再生水用於冷卻水用途，若冷卻水塔採開放式系統且可能產生飛濺噴沫者，建議可增加大腸桿菌群或總菌落數等水質項目，其基礎值可參考「再生水質標準及使用遵行辦法」。

第三章 用水最適化及回收再利用技術

本節依據產業用水特性，分別針對製程用水、冷卻用水、鍋爐用水及放流水最適化及回收再利用技術，及其他回收或用水減量方案等，摘要說明如下：

一、製程用水最適化及回收再利用技術

金屬製品製造業中，製程產物舉凡金屬表面處理、烤漆鐵板、螺絲、螺帽及金屬手工工具等，由於產品種類繁多，各項產品生產流程也不盡相同，但粗略分類，可將製造程序區分為三部分，分別為金屬機械加工、熱處理及表面處理此三道程序。於金屬製品作業中，加工作業的車、銑作業及表面處理的電鍍、陽極處理作業為最大用水來源，相關製程廢水水質特性如圖 6 所示，製程用水最適化及水回收技術如圖 7 所示，以下將分別說明各方法及回收技術：

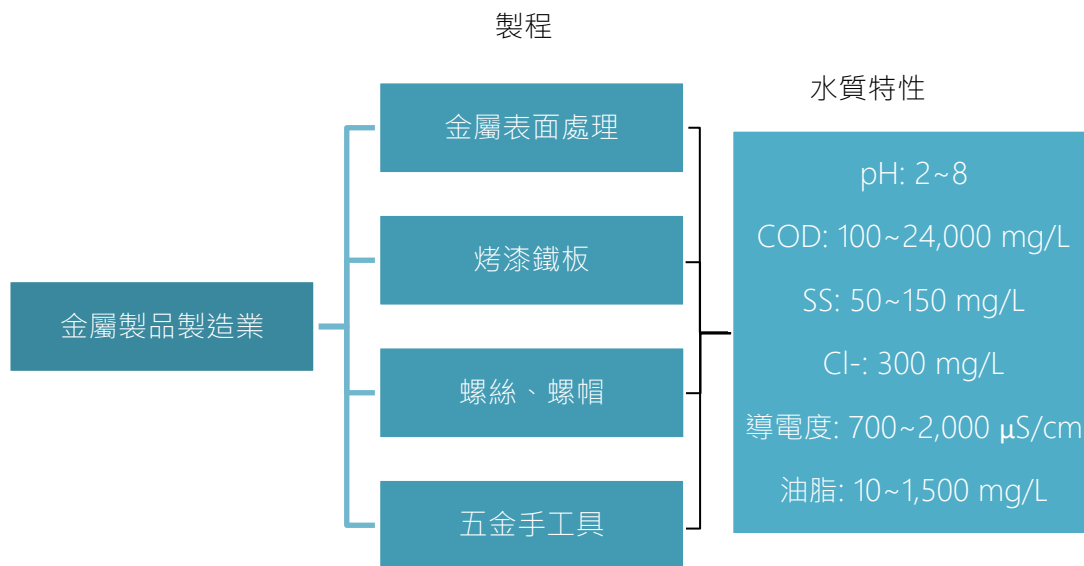


圖 6 金屬製品製造業製程廢水水質特性

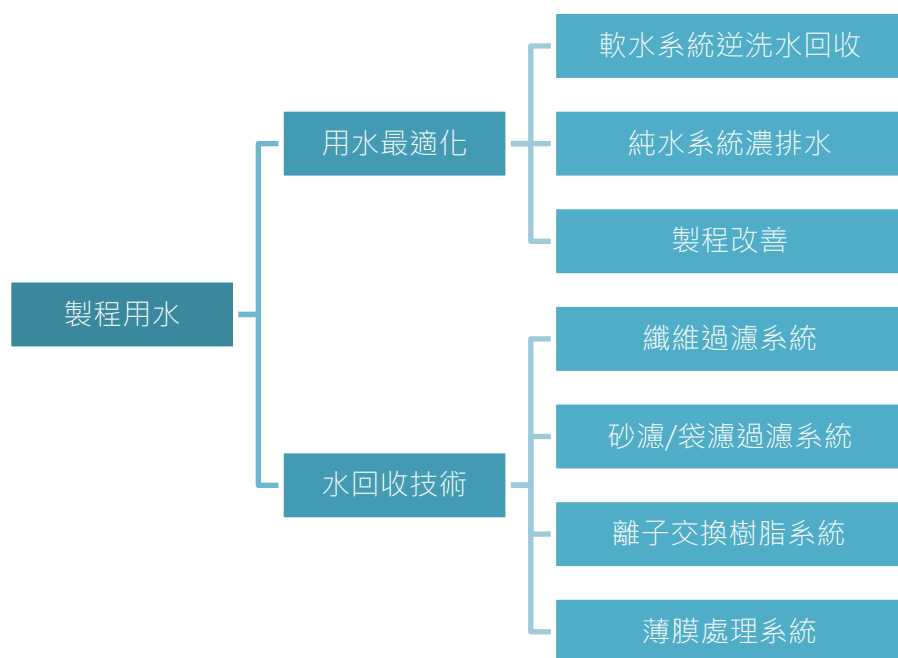


圖 7 製程用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 軟水系統逆洗水回收

軟化水設備，顧名思義即降低水硬度的設備，主要去除水中的鈣、鎂離子、活化水質、殺菌滅藻、防垢除垢等。系統使用達飽和階段後，需進行相關再生程序如：逆洗、靜置、注鹽、沉澱及順洗等，將得以恢復正常造水，前段逆洗、注鹽及初期順洗程序因含大量雜質及導電度較高不適回收外，後段順洗程序因導電度已趨近自來水且雜質含量低，故可進行回收，此回收水導電度約等同自來水，惟因可能含少量雜質，如欲導入冷卻水塔使用可先經過簡單的小型砂濾或袋濾設備，亦可以考量混入自來水池重新分配使用，達到水資源多次使用的理想目標。

2. 純水系統濃排水

由於製程作業中，對於製程用水品質有一定限制，因此進流水會透過薄膜過濾系統等進行前處理後再行使用，處理過程所產生濃排水唯導電度高，可用於對於水質要求較不嚴苛之其他區段，如：清洗、冷卻及洗滌塔之使用。

3. 製程改善

製程作業中，在不影響產品產率及產量的情況下，針對清洗作業進水流量控制及進水方式調整或是設備裝設液位控制、電磁閥控制清水入水量等方案及合理的製程設計包括採用多段逆流水洗、管控清洗水進出流方式避免短流、設置加壓噴洗及控制進水閥的清洗水量、設置流量計及依照污染特性調整用水量等合理管理，將可達到減少製程用水量。若採用多段逆流清洗法，在多槽清洗槽中，於最後一槽進流清水，從第一槽排水，一般設置 3 至 5 段清洗槽，靠各槽間的液位差逐段向前溢流，多段逆流如圖 8 所示。

若以清洗效率 $R = \text{清洗水量} / \text{帶出液量}$ ，帶出液量為 1 L，在達到相同清洗效率 $R = 100$ ，計算用水量如下：A.一段清洗水量：100 L；B.二段逆流清洗水量：10 L (節水率 90%)；C.三段逆流清洗水量：4.6 L (節水率 95%)。以不影響品質為原則，逐步降低清洗水量。

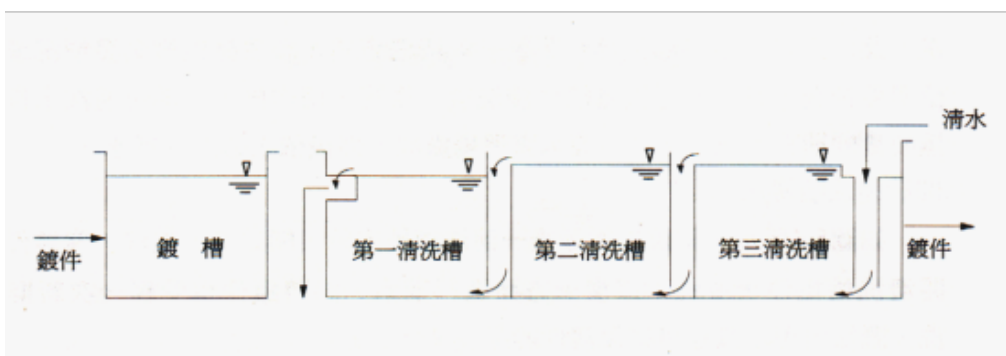
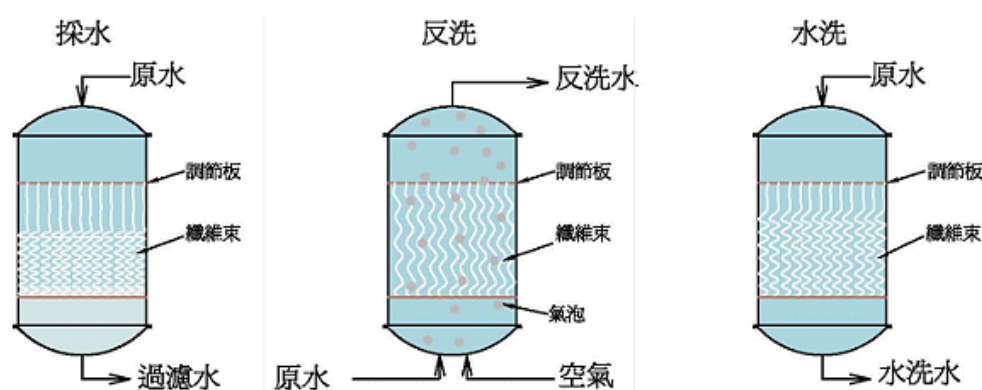


圖 8 多段逆流清洗法示意圖

(二) 水回收技術

1. 纖維過濾系統

纖維過濾系統 (Fabric Filter，簡稱 FF) 原理是利用水力將纖維往下壓，達到壓縮纖維的目的，產生過濾效果，有效去除水中懸浮固體 (Suspended Solids，簡稱 SS)、有機物、鐵及錳等污染物，針對砂濾難以去除之鐵粉及膠狀物，過濾效果佳。經良好混凝處理的水，懸浮固體含量為 20 mg/L 時，過濾出水懸浮固體可達 1 mg/L 以下，且過濾速度快，最低濾速為 30 m³/hr，最高濾速可達 100 m³/hr，運轉成本低、反洗水量少、不需更換濾材等特點，纖維過濾系統如圖 9 所示。



(資料來源：全澤股份有限公司)

圖 9 纖維過濾系統原理示意圖

在金屬製品製程作業中，有部分清洗作業廢水由於水質單純，可透過 pH 調整槽處理後回收至前端純水設備使用，由於純水設備進水水質要求(導電度:200 μ S/cm、SS: 200 mg/L)，可透過增設纖維過濾系統，達到降低懸浮固體濃度，並符合純水設備進水水質要求，以提升回收水量，相關回收設施建設經費分析如表 6 所列。

表 6 纖維過濾系統經費分析表

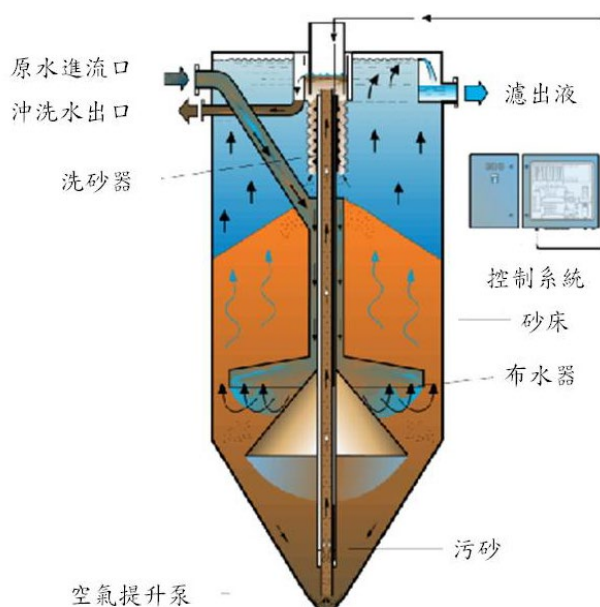
項目	纖維過濾系統
產水量 (CMD)	100
總建設成本 (元)	500,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	4.6
單位產水成本-營運 (元/噸)	9.0
單位產水總成本 (元/噸)	13.6
年營運成本 (元)	324,000
產水總成本 (元/月)	490,667

註：1.單位建設成本以折舊年限 3 年估算
 2.每月工作天以 30 天計。
 3. FF 系統設備建設費以 500,000 元預估，但經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

2. 砂濾/袋濾過濾系統

本行業生產作業中，如鋼捲研磨拋光作業所產生的廢水，其廢水當中往往含有作業所產生的懸浮粒子，若透過袋濾或砂濾藉由物理性的貯留作用及沈澱作用，將懸浮物質自水中分離，其過程包括將懸浮物質移送至濾材表面以到達使其附著於濾材後而達到分離之程序，常見砂濾過濾系統原理如圖 10 所示，經處理後之廢水，可作為次級用水如：冷卻水塔補充水，亦或者再作為前段清洗用水，達到重複再利用之效益，以某廠透過砂濾塔進行部分研磨廢水回收，相關建置經費及產水成本分析如表 7 所列。



（資料來源：上海奧德水處理科技有限公司）

圖 10 砂濾過濾系統原理示意圖

表 7 砂濾過濾系統經費分析

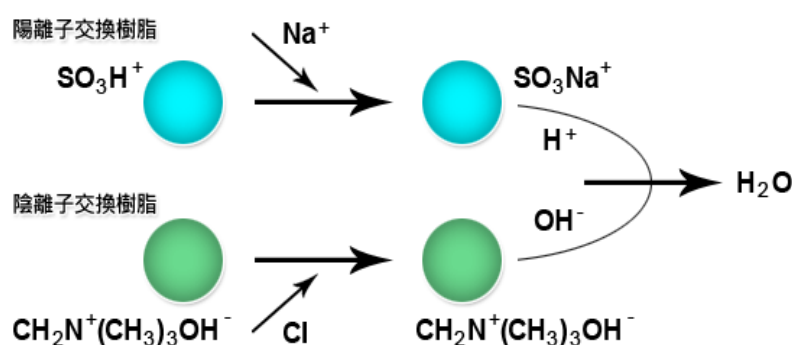
項目	砂濾塔
產水量 (CMD)	5
總建設成本 (元)	10,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	1.9
單位產水成本-營運 (元/噸)	1
單位產水總成本 (元/噸)	2.9
年營運成本 (元)	1,800
產水總成本 (元/月)	428

註：1.單位建設成本以折舊年限 3 年估算
2.每月工作天以 30 天計。
3.總建設成本不含水管佈設費用。

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016）

3. 離子交換樹脂系統

離子交換樹脂之原理是利用不溶性(樹脂)去除水中正負離子，同時將等當量相同電荷的離子釋入水中進行可逆式相互交換反應。利用樹脂具有多孔網狀結構特性，使水中離子迅速擴散進入樹脂內分子網路中，以進行固液間的交換反應，而樹脂本身結構未變，針對溶解性無機鹽類或重金屬去除特別有效，其原理如圖 11 所示。



(資料來源：雷鈞科技股份有限公司)

圖 11 離子交換樹脂系統原理示意圖

部分金屬製品作業中，由於製程因素，會產生部分含重金屬的鉻離子廢水，建議此廢水經 pH 調整槽後，SS 及化學需氧量(Chemical Oxygen Demand，簡稱 COD)藉由離子交換樹脂塔前之砂濾或活性炭所去除，離子交換樹脂系統可有效去除重金屬六價鉻，回收至純水系統後作使用，以透過離子交換樹脂系統回收鉻系廢水產水 30 CMD 為例，相關建置經費分析如表 8 所列。

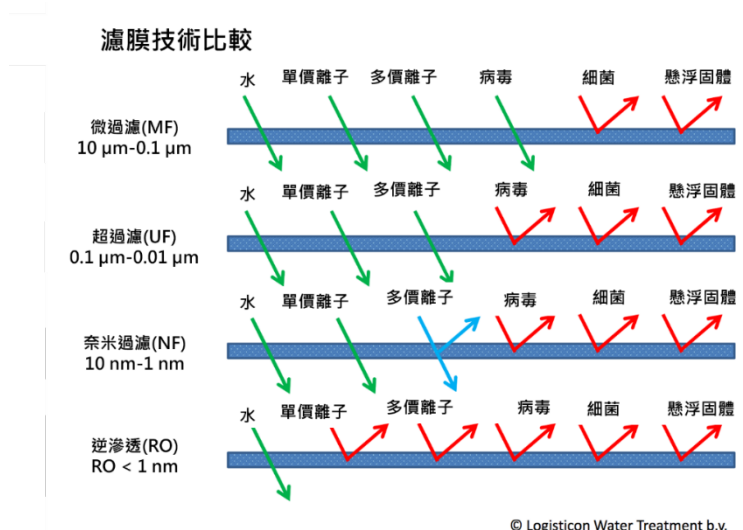
表 8 離子交換樹脂系統經費分析

項目	離子交換樹脂系統
產水量 (CMD)	30
總建設成本 (元)	300,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	9.3
單位產水成本-營運 (元/噸)	2.0
單位產水總成本 (元/噸)	11.3
年營運成本 (元)	21,600
產水總成本 (元/月)	121,600
註：1.單位建設成本以折舊年限 3 年估算 2.每月工作天以 30 天計。 3.離子交換樹脂系統設備建設費以 300,000 元預估，但經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。	

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

4. 薄膜過濾系統

微過濾 (Microfiltration · 簡稱 MF) 與超過濾 (Ultrafiltration · 簡稱 UF) 是薄膜處理中運用最廣的技術，其分離機制是利用膜孔大小來篩選可通過的粒子與分子，比薄膜孔徑大的顆粒便會被阻擋於膜面 (莊榮清等，薄膜科技的應用：流體中的最適守門員—微過濾與超過濾，科技大觀園，2008)。如：懸浮物等可透過 MF 及 UF 達到良好去除效率；對於單/多價離子則需透過奈米過濾 (Nanofiltration · 簡稱 NF) 及逆滲透薄膜系統 (Reverse Osmosis · 簡稱 RO)，達到分離之效果，上述各類薄膜種類去除物質比較將如圖 12 所示，相關實體設備如圖 13 至圖 16 所示，各薄膜過濾處理特性如表 9 所示。



(資料來源：Logisticon Water Treatment，comparison membrane techniques)

圖 12 各種濾膜去除物質比較圖



(資料來源：卓峰環境科技有限公司)

圖 13 微過濾薄膜設備圖



(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015)

圖 14 超過濾薄膜設備圖



NANOFILTRATION SYSTEMS

(資料來源：Enviromatch, Inc.)

圖 15 奈米過濾薄膜設備圖



(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

圖 16 逆滲透薄膜設備圖

表 9 各薄膜過濾特性比較分析表

薄膜處理名稱	微過濾 (Microfiltration)	超過濾 (Ultrafiltration)	奈米過濾 (Nanofiltration)	逆滲透 (Reverse Osmosis)
薄膜處理簡稱	MF	UF	NF	RO
膜過濾口徑	0.1 μm	10 nm	1 nm	0.1 nm
膜材質	聚丙烯	中空纖維、聚砵、陶瓷膜	聚醯胺	聚丙烯醯胺
膜類型	對稱膜	非對稱膜	非對稱膜	非對稱膜
操作原理	利用微濾膜的篩分機制，在壓力驅動下，截留顆粒物、微粒的一種膜分離過程。	使用壓力作為驅動力，根據物質大小的不同，利用篩分機制截留溶液中。	是一種介於超濾或逆滲透的膜分離程序。可截留重金屬或高價數的鹽類，也可截留小分子量有機物，達到有機物和無機物的分離及濃縮。	是滲透的逆向過程，以壓力作為驅動力，利用逆滲透膜只讓水分子或溶劑透過的特性，進行混合物液體的分離
主要功能	去除懸浮固體	去除有機物、懸浮固體、大分子染料	去除病毒、大分子無機離子、大分子有機物、小分子染料、兩價鹽類	完全去除有機物、溶解鹽類、濾過性病毒、細菌

在金屬製品製造中，針對含有如：鉻系、氰系廢水等，多數廠方皆將此股廢水與其他混合性清洗水水做分流，透過 **RO** 系統進行混和性清洗水離子過濾，處理後之清洗水將可與製程原水源混合，再次供應製程單元使用，而由於鉻系廢水具有很強的氧化能力，需要經過適當的前處理如 **MF** 膜以保護 **RO** 膜。以 **RO** 系統產水 15 CMD 為例，相關建置經費分析如表 10 所列。

表 10 逆滲透濾膜系統經費分析表

項目	RO 系統
產水量 (CMD)	15
總建設成本 (元)	225,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	8.3
單位產水成本-營運 (元/噸)	15.5
單位產水總成本 (元/噸)	23.8
年營運成本 (元)	66,960
產水總成本 (元/月)	128,520
註：1.單位建設成本以折舊年限 5 年估算 2.每月工作天以 25 天計。 3.RO 回收系統設備建設費，實際金額仍以工程公司報價為主。	

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

二、冷卻用水最適化及回收再利用技術

冷卻用水單元主要作用為吸收及轉移熱量，使用水溫度維持作業需求，因冷卻用水具有量體大、消耗少及污染低之特性，因此透過相關節水技術將可得到回收再利用之效益，有關冷卻用水內部循環水質標準可參照第二章表 4 及表 5，圖 17 為金屬製品製造業冷卻用水最適化及水回收技術。

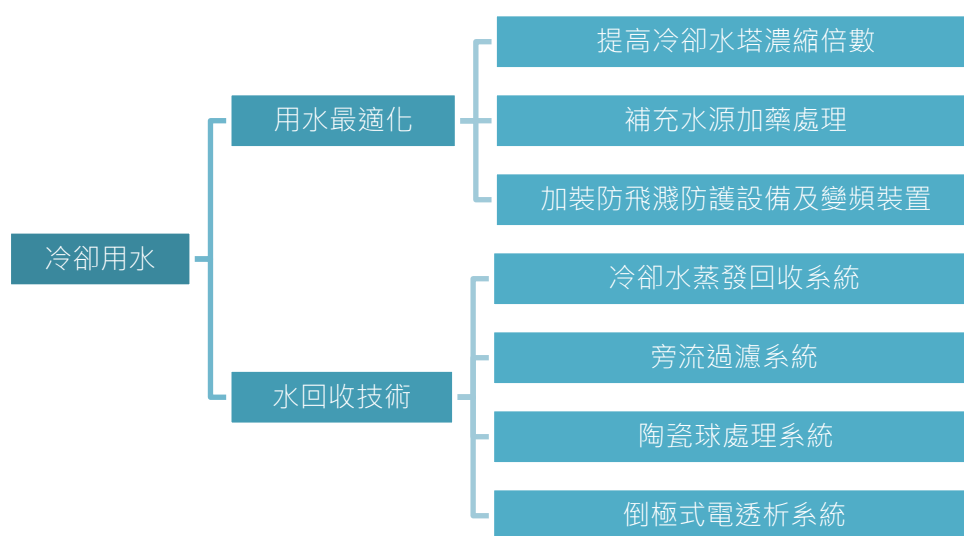


圖 17 冷卻用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 提高冷卻水塔濃縮倍數

冷卻水塔循環水透過換熱器交換熱量或直接接觸換熱方式來交換介質熱量後達到降溫之目的，之後進入冷卻水塔中循環使用，以降低用水量。但循環過程中，會因蒸發、飛散與濺灑、排放等作用而必須補充水源。蒸發作用係藉由一部分水蒸發，使得循環水溫度下降，可達到冷卻的功能；飛散與濺灑作用則因水滴噴濺或側風吹散，造成水滴逸散或被風扇吸出塔外損失；當冷卻水蒸發損失，持續重複循環利用，水中雜質將累積於水池中，加入補充水亦含有溶解固體，長時間累積及飽和濃度上升，固體物沉積管壁逐漸增厚，將可能造成管路阻塞問題，故須部分排放。補充水量與排放水量間之關係可以濃縮倍數 (Cycles of Concentration) 來表示：

$$C = M (\text{補充水量}) / B (\text{排放水量})$$

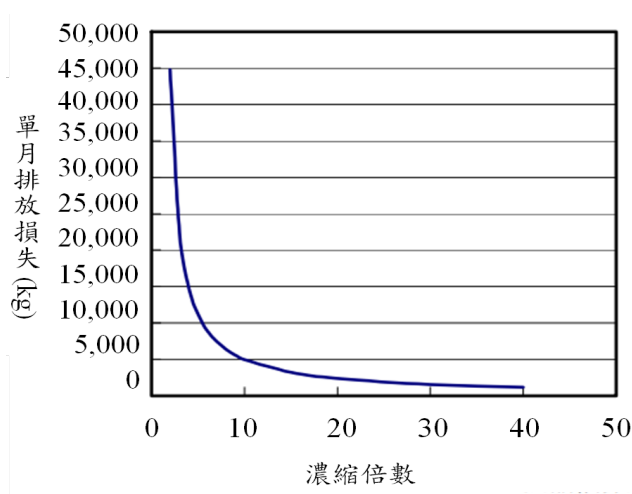
$$= EC_{\text{out}} (\text{排放水導電度}) / EC_{\text{in}} (\text{補充水導電度})$$

以節約用水觀點而言，提高濃縮倍數，可達到減少排水量、降低加藥量及能源損耗。濃縮倍數節省冷卻用水量之情形如表 11 所示，但過高濃縮倍數將可能造成水質問題，依操作經驗濃縮倍數以 5~6 倍時效益最佳。以 100 噸冷卻水塔與濃縮倍數與排放量的關係為例，其濃縮倍數與排放損失關係如圖 18 所示，當濃縮倍數高於 20，對於節水百分比效益已逐漸趨緩，持續濃縮除了增加藥品之費用開銷外，亦會導致設備產生副作用及環境污染。

表 11 濃縮倍數與節省水塔消耗量比較表

		提高排放濃度上限後之濃縮倍數						
原濃縮倍數		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
	1.5	33%	44%	50%	53%	56%	58%	60%
	2.0		17%	25%	30%	33%	38%	40%
	2.5			10%	16%	20%	25%	28%
	3.0				7%	11%	17%	20%
	3.5					5%	11%	17%
	4.0						6%	11%
	5.0							4%

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）



（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

圖 18 濃縮倍數與排放損失關係圖

2. 補充水源化學加藥處理

為降低冷卻水塔補充之自來水量，一般可將廠內污染程度較低之排放水、製程生成水或蒸氣冷凝水等，經過簡易加藥處理作為冷卻水塔補充水，以降低自來水消耗量，處理模式如圖 19 所示。

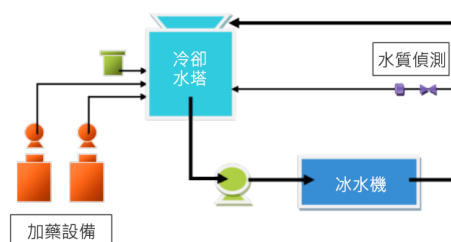
運用替代水源做為冷卻補充用水，其水質之穩定度，可透過藍氏飽和指數 (**Langelier Saturation Index**，簡稱 **LSI**) 做為判定，其計算模式為透過碳酸鈣在水中飽和程度作為積垢的參考指數，飽和指數雖未考量硫酸鈣、氫氧化鎂、矽酸鹽、磷酸鈣等水中其他積垢成分數值，但其足以做為水體是否有積垢傾向的判定，是水體使用、維護管理之重要依據：

LSI<0，碳酸鈣會溶於水中不易形成水垢，但管路易有腐蝕趨勢 (**Corrosion**); 可添加腐蝕抑制劑如磷酸鹽、矽酸鹽、亞硝酸鹽及鉬酸鹽等，以抑制腐蝕或於金屬表面形成一種保護膜。

LSI>0，水體中可能產生碳酸鈣沉澱，易形成水垢 (**Scaling**); 可添加抗垢劑如有機磷酸鹽及硫酸，將水中部份的重碳酸鈣 ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) 轉換成溶解度較高之硫酸鈣。

LSI=0，處於平衡狀態水質穩定，無結垢傾向，但 **LSI** 指數可能因溫度或水質變化產生影響。

若替代補充水中含藻類或菌類等時，將容易產生菌藻污塞，使得結垢及腐蝕問題更加惡化，產生冷卻水塔壓降及熱傳效率不良情形，處理方法為可選擇添加次氯酸鈉 (NaClO)、氯錠、二氧化氯 (ClO_2) 等滅菌劑，抑制微生物及藻類之滋長，惟較適合水量小及水質結垢者。

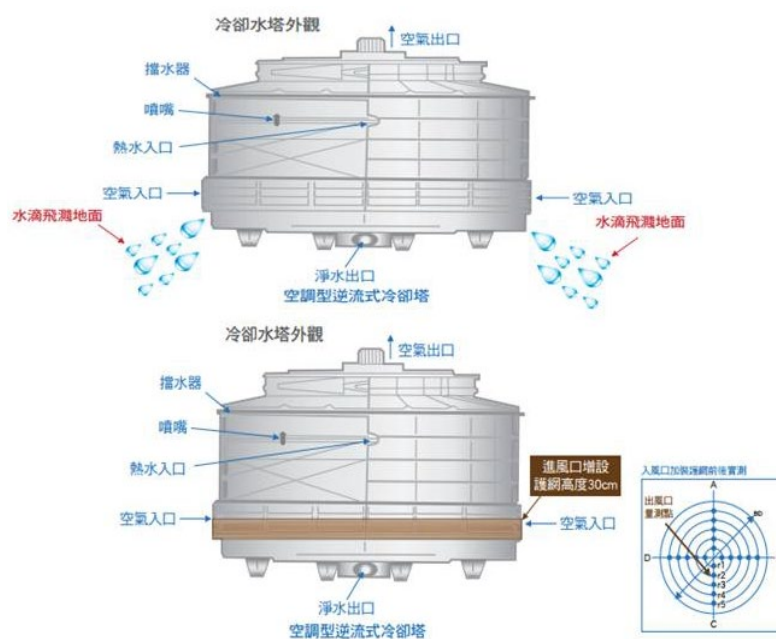


(資料來源：仝友股份有限公司)

圖 19 冷卻水塔加藥示意圖

3. 加裝防飛濺防護設備及變頻裝置

為減少冷卻水塔之補充用水量，增設防飛濺防護設備減少飛濺耗水量及加裝變頻裝置等均為常見之用法。冷卻水塔運轉時，當轉速過快及水量過大，會產生冷卻水逸散的現象，透過耐隆纖維及酚醛樹脂所組成之防飛濺裝置，可有效降低逸散發生，防飛濺防護設備如圖 20 所示。此外，冷卻水塔風扇安裝多式變頻器進行調速運轉，以大氣濕球溫度及出水需求控制水溫，進行風扇馬達變頻或兩段式設計，並參考冰水主機運轉台數，控制冷卻風扇轉速，可有效減少冷卻塔蒸發水量，估計約可節省 10% 之冷卻水蒸發逸散量，同時也可節省風扇所需的用電量。



(資料來源：經濟部水利署，節水紀實，2012)

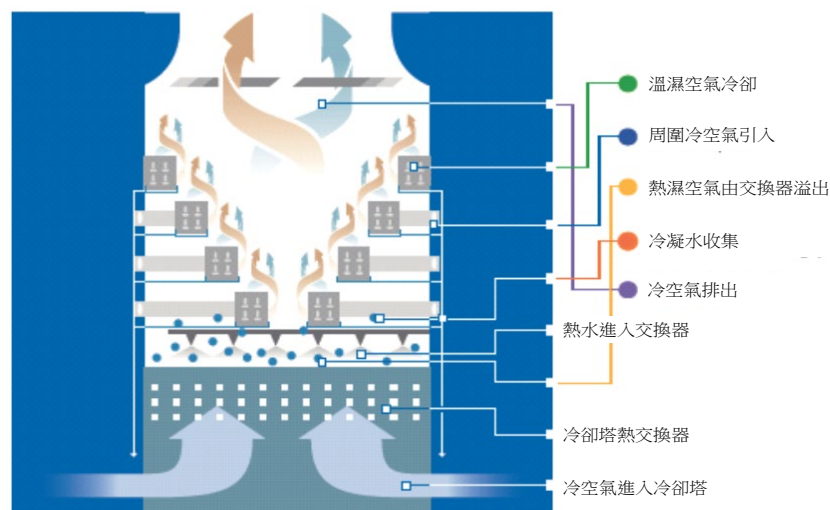
圖 20 冷卻水塔防飛濺防護設備圖

(二) 水回收技術

1. 冷卻水蒸發回收系統

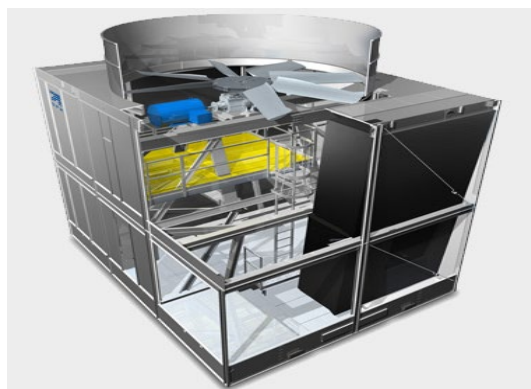
一般造成冷卻水蒸散量大，蒸散比率高之原因包括工廠冷卻循環水量大、風扇風量大及散熱片效率差等。依據研究顯示，典型開放式冷卻水塔耗水量依序為蒸發、排放、濺灑與飛散。因此，降低蒸發損失為主要節水重點 (國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005)。

美國加州理工學院機械系之研究顯示，以簡單的纖維濾料 (Fiber Filter) 即可吸附 10% 的冷卻蒸發水量，達到減少蒸發的目的 (Research Paper of California Institute of Technology，Kim, C.S.，Increasing Cooling Tower Water Efficiency，2009)。針對冷卻水蒸發回收，國外研發 Air2Air™ 蒸發回收系統，以周圍較冷空氣進行蒸氣降溫，回收系統如圖 21 所示；Marley ClearSky™ 消霧節水冷卻水塔，採用冷凝模組在塔內凝結水分降低水霧排放，經估算可回收 15~22% 的冷卻水蒸發量，節水冷卻水塔設備如圖 22 所示；以 150 HP 冷卻水塔於缺水時期使用為例，蒸發回收分析如表 12 所示，其每年 11~4 月缺水期間運作之單位回收成本如表 13 所示。



(資料來源：賴建宇，冷卻用水效率提升，產業用水效率提升輔導說明會，2016)

圖 21 冷卻水塔蒸發回收系統圖



(資料來源：SPX Cooling Technologies, Inc)

圖 22 消霧節水冷卻水塔設備圖

表 12 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收分析表

月份	濕球溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	乾球溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	原蒸發量 (m^3/h)	可回收量 (m^3/h)	蒸發水量 (m^3/h)	風門開度 (%)	水回收率 (%)
1	13.9	16.6	11.5	2.5	9.0	100	21.6
2	14.8	17.3	11.5	2.5	9.0	100	21.6
3	16.9	19.6	12.0	2.5	9.5	100	20.8
4	20.3	23.1	12.2	2.3	9.9	100	18.5
5	22.9	26.0	12.7	1.8	10.8	45	14.3
6	24.6	27.6	12.7	0.0	12.7	0	0
7	25.1	28.6	12.9	0.0	12.9	0	0
8	25.1	28.3	12.9	0.0	12.9	0	0
9	24.0	27.4	12.7	0.0	12.7	0	0
10	21.6	25.2	12.7	1.8	10.8	70	14.3
11	18.5	21.9	12.2	2.3	9.9	100	18.5
12	15.0	18.1	11.8	2.5	9.3	100	21.2

註：計算基準：150 馬力風扇，降溫 $37.5\sim 32^{\circ}\text{C}$ ，冷卻循環水量 $1,576 \text{ m}^3/\text{h}$

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

表 13 台灣中部地區冷卻水塔蒸發回收之成本分析表

項目	蒸發回收冷卻水塔	傳統冷卻水塔	加裝蒸發回收差異
風扇馬達功率	110 kW (150 馬力)	93 kW	17 kW
建造成本	22,000 千元	10,000 千元	12,000 千元
回收水量 (11-4 月)	58,240 m^3	0	58,240 m^3
營運成本 (11-4 月)	1,100 千元	930 千元	170 千元
單位產水建造成本 (25 年折舊) (元/ m^3)			8.24
單位產水營運成本 (元/ m^3)			2.92
單位產水成本 (元/ m^3)			11.16

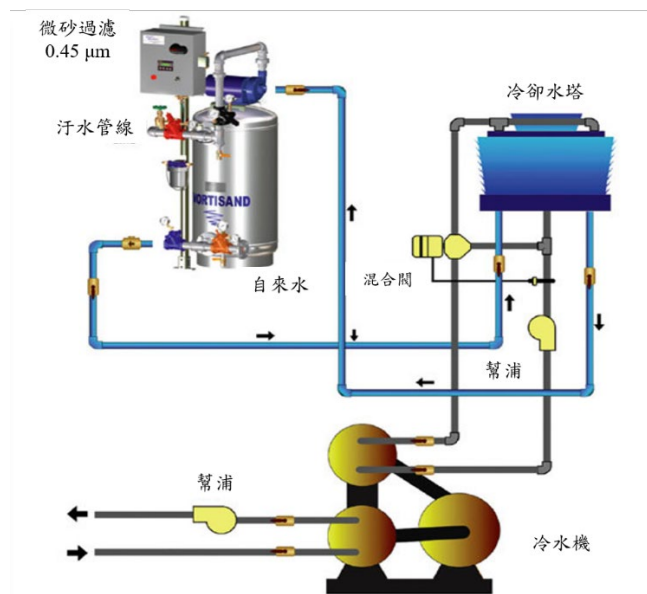
註：計算基準：建造成本折舊年限 25 年，電費 2.5 元/度

(資料來源：經濟部工業局，工業污染防治，第 141 期，2017)

2. 旁流過濾系統

過冷卻水塔加裝旁流過濾裝置，可達到去除水中絮狀物、灰塵及水中懸浮物質，此類雜質具有低溶解度特性，因此於冷卻系統管路上安裝過濾器去除雜質，可達到良好處理效果，旁流過濾系統如圖 23 所示。當水塔抽水模式若可由冷卻水塔中心抽出，將可提升取水率並有效降低結垢及污塞。

過去常見傳統旁流過濾設備多採砂濾，但砂濾具有反洗水量大、壓力易上升及易結塊等問題，以過濾量 $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ 為例，纖維過濾與傳統砂濾比較如表 14 所示，纖維過濾除反洗水量較少外，同時可有效濾除膠狀物質及鐵、錳物質及過濾精度高等多項優點，可有效解決傳統沙濾問題（冷卻水塔旁濾設備應用及其節水成效，全澤股份有限公司）。在有旁流過濾處理設備下，可採：1. 未經處理就再循環利用於其他用途；2. 部分處理後，再循環利用於其他用途；3. 處理後再循環做補充用水或原用途水源。



（資料來源：Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd.）

圖 23 旁流過濾處理系統示意圖

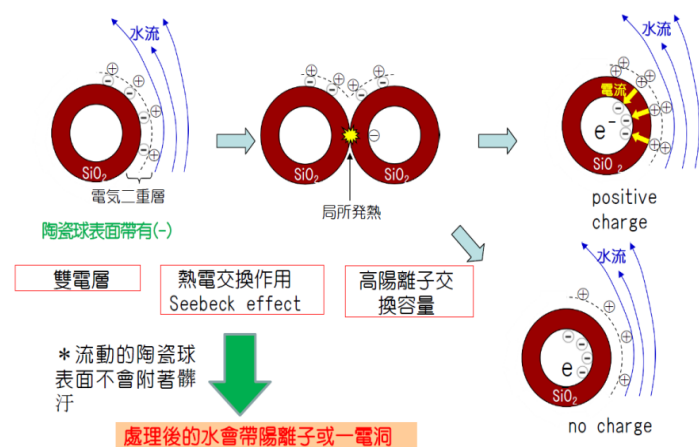
表 14 纖維過濾與傳統砂濾比較表

項目	傳統砂濾	纖維過濾
過濾速度 (LV 線性流速)	10 m/hr.	一般過濾 30 m/hr. 高速過濾 60~100 m/hr.
過濾表面積	10 m ² 佔用面積大 (LV=10 時)	一般：3.3 m ² (LV=30 時) 高速：1.25 m ² (LV=80 時)
反洗總耗水量 (如每天反洗一次)	36,500 m ³ /year	一般：13,140 m ³ /year 高速：5,110 m ³ /year
截污量	淺層過濾，截污量少，相對反洗頻率高	深層過濾，截污量多，相對反洗頻率低
過濾精度	10 μm 以上粒徑的顆粒方可濾除	10 μm 濾除 100% 2 μm 濾除 50%以上
濾材更換	1~3 年需更換一次，視污染情況而定	正常狀況下使用 10 年以上
對膠狀物質及鐵份處理	無法濾除膠體物質及鐵、錳	可濾除膠狀物質及鐵、錳
結塊問題	濾材會因微生物及污染物凝聚而結塊，過濾時造成短流	濾材用氣水清洗不結塊不影響過濾效果
油脂過濾	會受油污染而凝結	可過濾少量油脂
使用動力	需倍量水反洗及較高水頭損失，耗用能源大	比採水量小的反洗水及較低的水頭損失，耗用能源小
過濾水頭損失	初始壓力隨濾材粒徑而定，一般 0.5 kg/cm ² ，壓差 0.5 kg/cm ² 時需反洗	初始壓力為 0.2~0.4 kg/cm ² 壓差 0.5~1.0 kg/cm ² 時才需反洗
設備選擇性	設備單一無選擇性	設備多樣化

(資料來源：全澤股份有限公司)

3. 陶瓷球處理系統

在循環水處理裝置中，冷卻水流經陶瓷球後帶陽離子， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價陽離子與碳酸鹽等陰離子產生膠體化形成水垢，使得水垢沉積在水流流速低的冷卻水塔水盤中，因此水垢不會附著到管線及熱交換器的管壁上，以減緩管線的腐蝕，可大幅降低排水量來控制濃度，相關設備水處理理論及實體設備如圖 24 及圖 25 所示。



(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 24 陶瓷球水處理理論圖

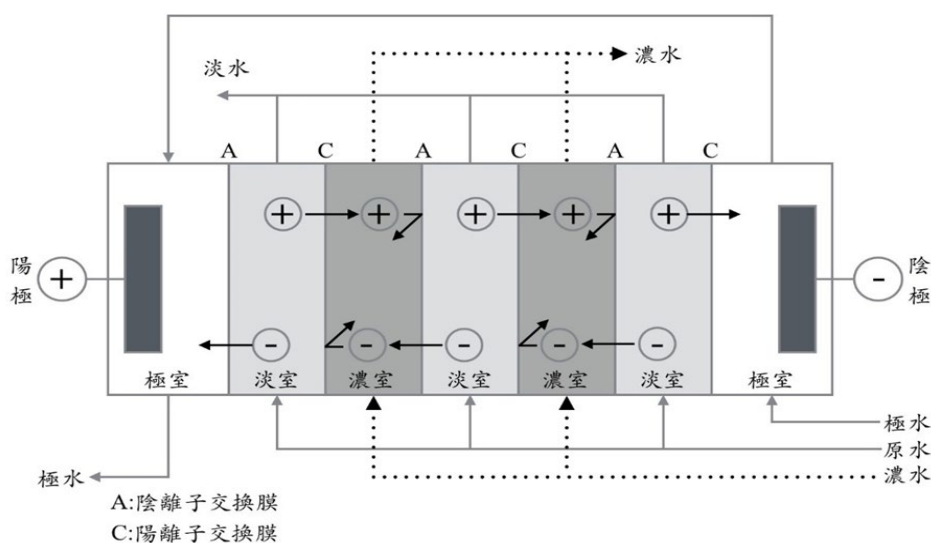


(資料來源：盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016)

圖 25 陶瓷球水處理設備圖

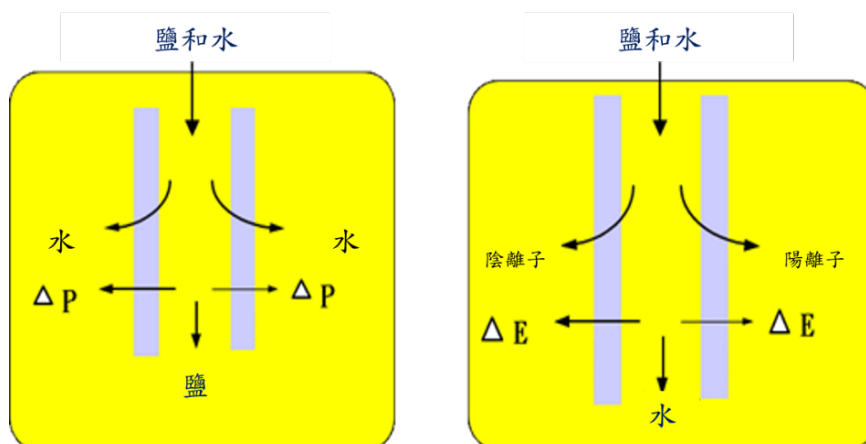
4. 倒極式電透析系統 (Electrodialysis reversal, 簡稱 EDR)

EDR 主要是利用異相型離子交換膜組成 EDR 模組如圖 26 所示。利用陽離子只能穿透陽離子膜，而陰離子只能穿透陰離子膜的特性，在外加直流電場的作用下，水中陰離子移向陽極，陽離子移向陰極，最後得到淡水及濃水，達到淡化除鹽的目的，並利用切換直流電正負極和內部導流的方式延長薄膜使用壽命。EDR 可處理之導電度高達 $8,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，化學耐受性高，pH 處理範圍介於 1~10 之間，可用 3% HCl 清洗薄膜表面結垢或用 H_2O_2 或氯殺菌，且對原水污泥密度指數 (Silt Density Index, 簡稱 SDI) 限值小於 15，清洗維修週期長，動能消耗低 (45~90 psi 操作) 故在操作成本上較 RO 低，水回收率最高可達 90%，氟離子濃度負荷可達 1,500 mg/L，去除效率約 80%。其 RO 與 EDR 脫鹽技術之比較如圖 27 所示，經由 EDR 系統處理後可以有效的淡化水或廢水中的離子，降低水中的導電度及總溶解固體 (Total Dissolved Solids, 簡稱 TDS)，處理後之水源可做為冷卻水塔補充水。



(資料來源：梁德明，薄膜相關新技術用於電導躡控制技術及處理成本分析，排放水電導躡控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003)

圖 26 電透析薄膜處理系統原理示意圖



RO分離機制：以壓力(20 bar)為驅動力 EDR分離機制：以電力為驅動力

(資料來源：梁德明，薄膜相關新技術用於電導躡控制技術及處理成本分析，排放水電導躡控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003)

圖 27 逆滲透薄膜與倒極式電透析系統脫鹽技術原理比較圖

國內已有大用水工廠以 **EDR** 進行冷卻排放水回收，此舉除可回收約 **75%** 冷卻排放水外，亦可有效減少冷卻系統循環水之藥劑使用量。表 15 為冷卻排放水以 **EDR** 回收後，產出優質再生水之案例，生產之再生水水質較自來水佳，更適合作為冷卻水塔補充水。

表 15 冷卻排放水以倒極式電透析回收產水水質實例表

項目	pH	導電度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	鈣硬度 (mg/L as CaCO_3)	鎂硬度 (mg/L as CaCO_3)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
排放水	8.0~8.5	1520±30	275±25	30±5	250±30	290±30
再生水	5.0~6.2	295~315	20~27	0.5~1.4	9~12	91~112

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016)

三、鍋爐用水最適化及回收再利用技術

鍋爐用水係指在鍋爐內進行汽化所需之用水，其蒸氣將用於工業生產及發電，由於蒸汽凝結水具有較佳水質，因此適合用於回收再利用，且鍋爐用水循環再利用，多於密閉系統下進行，較無微生物孳生之困擾，但會產生腐蝕及結垢現象，因此藉由除氧、調節 pH 值、添加螯合劑、利用電磁場及脫鹼等控制腐蝕結垢，使得設備得以正常操作並降低用水量，相關用水最適化及水回收技術如圖 28 所示，說明如下。

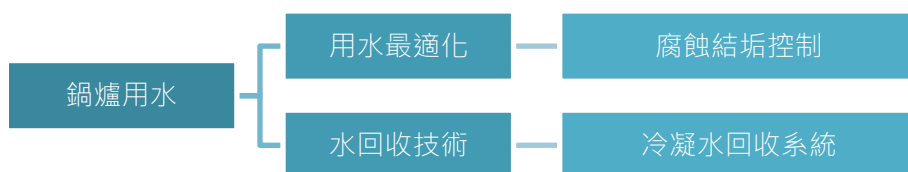


圖 28 鍋爐用水最適化及水回收技術

(一) 用水最適化

1. 腐蝕結垢控制

在鍋爐腐蝕預防控制技術中，預防結垢之方式如下：

(1) 除氧

對於鍋爐進水水質進行除氧，相關常見技術如化學除氧及熱力除氧。在化學除氧中，利用化學反應來除去水中溶解氧氣量，常用的有鋼屑除氧法、亞硫酸鈉除氧等方法；熱力除氧技術中，一般有大氣式熱力除氧和噴射式熱力除氧，原理是將鍋爐給水加熱至沸點，使氧溶解度減小，水中氧不斷逸出，再將水面上產生的氧氣連同水蒸汽一道排除，是目前應用最廣且發展最成熟的除氧方法。

(2) pH 控制

由於鍋爐材質為金屬材料，預防鍋爐腐蝕，對於進水應調高 pH 值，常用方式是以添加胺、有機胺中及二氧化碳以提高 pH 值。在高純度鍋爐給水中，pH 值需控制在 6.5 至 7 中，並加入強氧化劑形成保護膜防止金屬腐蝕。

(3) 螯合劑處理

於鍋爐水中，添加乙二胺四乙酸(Ethylene Diamine Tetraacetic Acid，簡稱 EDTA)，使其於水中鐵離子形成鐵螯合物，避免金屬腐蝕。



(4) 電磁場處理

係利用電磁感應產生的電磁場作用於流體，在電磁場的作用下，水中的鈣、鎂離子會處於高速運動的狀態，暫時性改變電荷，因此讓鈣、鎂離子無法形成水垢，達到防阻水垢生成的目的。

(5) 脫鹼處理

當鍋爐水質鹼度偏高時，可能會引起水冷壁管的鹼性腐蝕和應力腐蝕破裂，還可能使鍋爐水產生泡沫而影響蒸氣品質，對於鉚接或脹接鍋爐，鹼度過高也可能引起苛性脆化，因此利用脫鹼軟化水質，若排放異常即進行校正。

(6) 不同壓力鍋爐

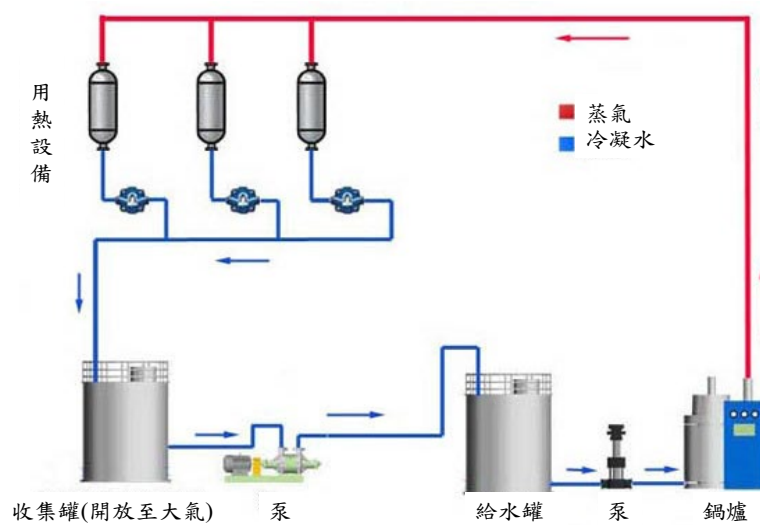
由於鍋爐工作壓力不同，對於水質要求及控制方法上也有所不同。壓力越高的鍋爐，對水質要求亦越高。低壓鍋爐可以在爐內水處理，但一般採用以軟化水作為補充水在爐外處理；中壓鍋爐及部分高壓鍋爐通常採用脫鹼、除二氧化矽、脫鹽和鈉離子交換（中壓鍋爐）後的軟化水作為補充水，在爐內主要採用磷酸鹽處理。

(二) 水回收技術

1. 冷凝水回收系統

冷凝水來源是透過收集所有間接蒸汽使用端的冷凝水，應作適當餘熱回收，減少閃沸蒸汽排放損失，以達最大節能效益。在鍋爐冷凝水回收系統中，提高鍋爐給水溫度及品質，不僅可降低用水量，同時也可減少鍋爐負荷及處理成本。鍋爐冷凝水回收系統可區分為開放式及封閉式，以下將分別說明兩者的原理。

開放式冷凝水回收系統是透過疏水閥將冷凝水回收至開放式之收集罐內，其回收原理如圖 29 所示。此回收冷凝水將可做為鍋爐補充水或者其他製程用途，但由於冷凝水為直接排放到大氣常壓下，因此有較多的閃蒸汽直接排放到大氣中，冷凝水溫度不會高於 100°C 。

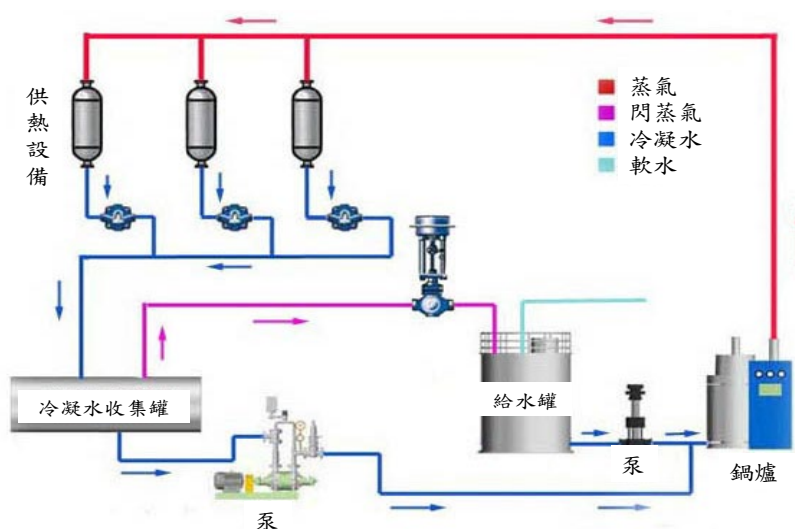


（資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司）

圖 29 開放式冷凝水回收系統示意圖

密閉式冷凝水回收系統是將冷凝水回收至密閉收集罐內，是一種高於常壓的回收方式，其回收原理如圖 30 所示。在此封閉迴路中，於集水罐回收之冷凝水，溫度可以遠高於 100℃。

開放式冷凝水回收系統配置較簡單，初期投資較低，但由於收集罐是開放至大氣的，當冷凝水發生閃蒸時，大量的熱量會釋放到空氣中；封閉式的系統的投資成本較高，在設計時也需要考慮較複雜的參數，例如調節閃蒸氣的專用閥等，但可回收的熱量比開放式系統來得高，相較開放式的冷凝水回收系統可節省更多能源，此兩者回收系統比較如表 16 所示。



（資料來源：唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司）

圖 30 密閉式冷凝水回收系統示意圖

表 16 開放式及密閉式冷凝水回收系統比較表

	開放式回收	密閉式回收
冷凝水回收溫度	最高 100℃	最高 180℃
系統參數	簡單	複雜
初期投資	較低	較高
管道侵蝕	顯著 (冷凝水和空氣接觸)	輕微 (冷凝水不和空氣接觸)
水霧	大量	少量
回收工藝	鍋爐給水、預熱及清洗用水	回收到鍋爐中或閃蒸氣回收工藝中

（資料來源：迪埃爾維流體控制商貿有限公司，冷凝水回收：開放式系統 vs 封閉式系統）

四、放流水回收再利用技術

放流水回收再利用，除可降低廢水納管所衍生之費用外，亦可回收作為原水補充或其他次級用水使用，降低原水取水量。常見的放流水回收再利用技術包括薄膜處理系統等如圖 31 所示，分別說明如下：

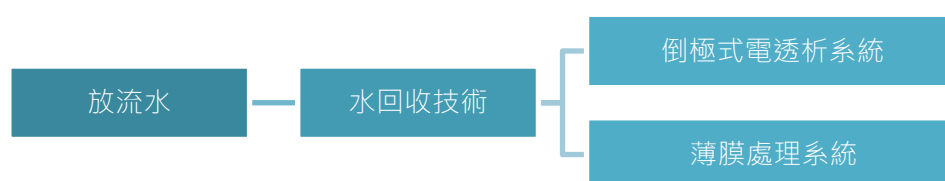


圖 31 放流水回收技術圖

(一) 水回收技術

1. 倒極式電透析系統

有關倒極式電透析系統運作原理已於前節敘述，當管末廢水經處理系統處理後，水中 COD 及 SS 經過有效處理為導電度偏高時，倒極式電透析可有效地透過透析原理去除水中鹽類，此股回收水可導入既有的軟水系統與純水系統，以作為製程補注水源，以某廠設定 EDR 系統產水率 80%，相關設備建置經費及產水成本如表 17 所列。

表 17 倒極式電透析系統經費分析

項目	EDR 系統
產水量 (CMD)	300
總建設成本 (元)	7,500,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	5.71
單位產水成本-營運 (元/噸)	12.5
單位產水總成本 (元/噸)	18.21
年營運成本 (元)	1,368,750
產水總成本 (元/月)	1,933,750
註：1.單位建設成本以折舊年限 12 年估算 2.每月工作天以 30 天計。	

(資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2013)

2. 薄膜處理系統

為使達到分離效果，薄膜就是介於兩流體間阻隔的界面，具有限制或調節某些物質通過的功能。薄膜就像是多孔性的一面牆，只允許較小的水分子（稱為滲液）通過孔洞到達牆的另一側，而體積較大的分子被薄膜阻擋滯留在原來的一側，藉此達到分離純化的目的。

管末水由於已透過廢水處理單元處理，水中污染物多數以達到良好去除率，該水源再經超膜過濾（UF）+ 逆滲透處理（RO）設備，以 UF 作為 RO 前處理，確保廢水 SDI 值小於 5 以減少 RO 負荷量，達到去除細懸浮微粒、總溶解固體物及鹽分，以降低放流水導電度，處理後水源可回用至純水系統再製，作為製程單元使用。以本設備處理 100 CMD、產水率 60% 做估算，相關建置設施經費分析如表 18 所列。

表 18 超膜過濾加逆滲透薄膜處理系統經費分析

項目	UF + RO 系統
產水量 (CMD)	100
總建設成本 (元)	2,500,000
單位產水成本-建設 (元/噸)	20.8
單位產水成本-營運 (元/噸)	12.5
單位產水總成本 (元/噸)	33.3
年營運成本 (元)	300,000
產水總成本 (元/月)	548,000
註：1. 單位建設成本以折舊年限 5 年估算 2. 每月工作天以 30 天計。 3. 離子交換樹脂塔與 UF+RO 建置費以 2,800,000 元預估，但經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。	

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2013）

五、其他水回收技術

其他水回收技術方案包括生活用水減量、廠內用水管理、雨水貯留管理系統、區域水資源整合及裝設連續監測系統等如圖 32 所示，亦可以達到水回收再利用，並減少原水取水量之效益，說明如下：

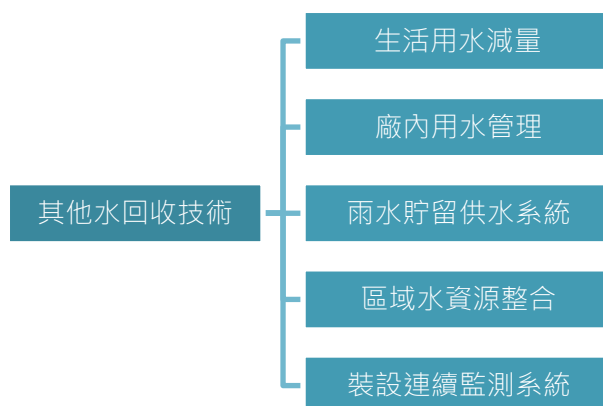


圖 32 其他水回收技術

(一) 生活用水減量

據經濟部水利署公布，平均工廠人員每人每日用水量以 50 L，住宿人員則約以 250 L/天做計算，若能經由省水器材加裝及正確的節水觀念，方可減少使用水量及避免水資源的浪費，可施行之節水方案如下：

1. 檢討辦公室或宿舍供水壓力之合理性，適切調降用水水壓，降低用水量。
2. 採用省水器材或配件，如加裝省水/感應式水龍頭、二段式馬桶沖水器。
3. 用/控水器材定期巡查、維護及檢漏。
4. 實施員工節水教育宣導。

(二) 廠內用水管理

為使得廠內人員能清楚掌握廠內用水流向及用量大小，可於供水之主幹管，可劃分為製程、民生、鍋爐及洗滌塔等管線或用水量大之設備加裝水錶，以了解水源流向，並能作為漏水檢視，避免水源浪費，且透過回收水槽加裝水錶及自動水質檢測設備，確保回收水用量及用水品質。

(三) 雨水貯留供水系統

雨水貯留供水系統是將雨水以天然地形或人工方法截取貯存，做為替代性補充水源。一般可藉由廠區之建物屋頂或頂樓樓板、公園綠地、停車場、廣場道路鋪面等進行雨水收集，經雨水處理系統（初步沉澱、過濾、消毒）後，流入貯水槽，以做為雜用水如沖廁、澆灌、補充空調用水或景觀池及生態池之補充水源，其回收處理流程如圖 33 所示。

當台灣雨量雖然豐沛，但降雨分布不均及降雨延時短，容易產生極端降雨的情形。雨水貯留供水系統可在降雨量大時，將雨量收集起來做為原水補充，有效利用雨水資源，不僅能減少自來水的耗用，更可有效降低暴雨時期都市洪峰負荷。

一般較大規模雨水貯留槽會設置雨水-自來水自動切換系統，在缺水時使用自來水補給，以確保貯留槽有足夠水量。當雨水貯留槽內水位過低時，槽內所設計之球形閥或電擊棒受到感應，會打開補給管的閥門，自動補給自來水（雨水利用之設計要點，工研院能資所節水服務團）。

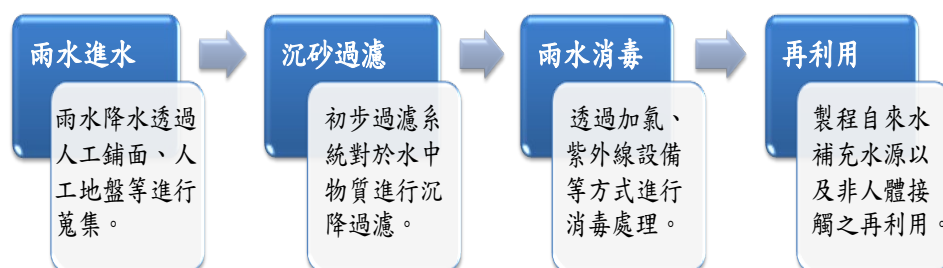


圖 33 雨水回收流程圖

設計準則參考收集雨水處理設備與使用程度關係如表 19 所列，雨水截流系統設計值計算如表 20 所列，根據中央氣象局氣候分區相關氣象資料顯示，預估平均雨量、降雨概率規劃雨水利用設計量。

表 19 雨水處理設備與使用程度關係表

利用 途徑 集水 場所	經常與身體接 觸用途或緊急 時飲用水	清掃浴室及 室內地板	洗車、灑 水、清洗戶 外地板、消 防水	水景、植 栽澆灌	冷卻水塔 的補給用水	廁所馬桶衛生 器具之沖洗
屋頂或頂樓 樓板	經處理程序後 加氯消毒	沉澱加碎石 過濾處理後 使用	自然沉澱及簡易處理流程後使用			簡單清除垃圾 即可使用
公園綠地						
經透水處理 之人工地盤		自然沉澱加 過濾機處理	沉澱加碎石 過濾處理後 使用	自然沉澱及簡易處理流程後使用		
廣場、道 路、人工鋪 面、停車場						

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

表 20 雨水截流系統設計值表

項目	公式
地區日集雨量	$\text{日平均降雨量} \times \text{集雨面積} \times \text{日降雨概率} = \text{日集雨量}$ 日平均降雨量：每日平均的降雨量（毫米/日） 集雨面積：單位長度和寬度下集結雨水面的大小（平方公尺） 日降雨概率：降雨可能性的指標（無單位） 日集雨量：平均單日集雨量（立方公尺/日）
雨水利用設計量	補充部分原水供應（CMD）
儲水槽容量	$\text{預備 3 天蓄水量} + \text{日集雨量} - \text{雨水利用設計量} = Z \text{（噸）}$ $Z \times 1.1 \text{（加 10\% 安全係數）} = \text{（噸）}$

（資料來源：經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016）

(四) 區域水資源整合

再生水資源發展條例公告實施後，將強制新設廠或擴廠後總用水量>3,000 CMD 廠商須使用一定比例再生水，趨使廠商須尋覓再生水源，故規劃整合該區域內廠商之水資源，將特定產業聚落地、水質特性相近者及需水品質要求，評估作為需水廠商再利用，達成區域水資源整合再利用之目標。對於有缺水風險工業區，依供水端廠商放流水水質水量，規劃其排放水回收再供給他廠利用，降低工業區內原水取水量，推動的型態如圖 34 所示：

1. A 廠放流水提供 B 廠使用，有效減少 A 廠排水量及 B 廠之取水量。
2. 工業區相似性質之廢污水分類分流收集，並集中處理及回收，提供鄰近廠商使用；聯合污水廠做到外部處理而可因地制宜送至各別工廠時，由各別工廠時採內部處理。

金屬製品製造業中，金屬加工處理中表面處理業如：鍍著、表面處理等作業，需要耗用較多水源進行作業處理，若鄰近廠商有食品飲料業，其管末廢水經活性污泥濾膜法 (Membrane Bio-Reactor，簡稱 MBR) 及紫外線 (Ultraviolet，簡稱 UV) 處理後排放，可供應本製造業經過濾、軟水系統後，做為清水、冷卻單元做使用，供水端可降低廢污水排放量，用水端可減少自來水使用量及日後耗水費的相關費用繳納。

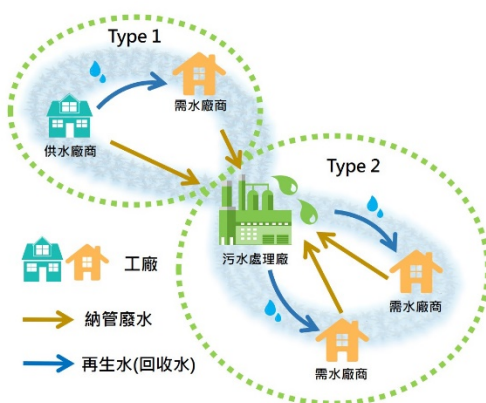
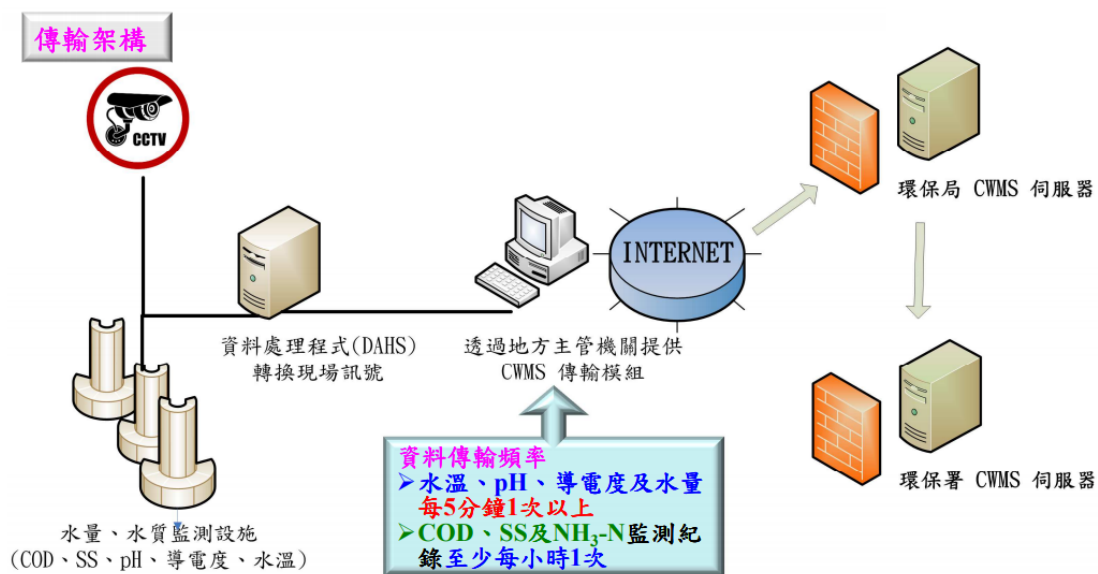


圖 34 區域水資源整合型態示意圖

(五) 裝設連續監測系統

若工廠與工業區排放量達行政院環境署之規定，須依據「水污染防治措施及檢測申報管理辦法規定」裝設廢污水自動監測設施。監測傳輸設置裝置如圖 35 所示。裝設廢水連續監測系統，以隨時掌握排放水質及水量狀況如 COD、SS、pH、導電度及水溫等，透過資料處理程式轉換現場訊號，有助於廢水水質監控預警，亦能檢討評估廢水處理操作成效。



(資料來源：行政院環保署，廢水自動監測及連線傳輸設置程序，2014)

圖 35 監測連線傳輸設置圖

六、小結

茲將金屬製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整如表 21。

表 21 金屬製品製造業各用水標的建議之最適化與回收再利用技術彙整表

最適化管理 與回收再利用技術		用水標的	製程用水	冷卻用水	鍋爐用水	放流水
最適化管理 技術	軟水系統逆洗水回收		✓			
	純水系統濃排水		✓			
	製程改善		✓			
	提高冷卻水塔濃縮倍數			✓		
	補充水源加藥處理			✓		
	加裝防飛濺防護設備及變頻裝置			✓		
	腐蝕結垢控制				✓	
回收再利用 技術	纖維過濾系統		✓			
	砂濾/袋濾過濾系統		✓			
	離子交換樹脂系統		✓			
	薄膜處理系統		✓			✓
	冷卻水蒸發回收系統			✓		
	旁流過濾系統			✓		
	陶瓷球處理系統			✓		
	倒極式電透析系統			✓		✓
	冷凝水回收系統				✓	

第四章 水回收再利用案例介紹

一、案例 A 廠簡介

(一) 案例廠簡介

A 股份有限公司於 1997 年 2 月投資創立，並於 1998 年 8 月 18 日在高雄市正式動土興建一座年產能一萬公噸之印刷電路板用電解銅箔廠。產品主要供應國內、外印刷電路板業及銅箔基板業所需相關種類之電解銅箔。

鑑於目前電腦、通訊、消費性電子（3C 產品）大量發展階段，印刷電路板業為電子工業之母，為國內僅次於積體電路（Integrated Circuit，簡稱 IC）半導體之第二大電子產業，其產值高居全世界第三位，未來發展榮景可期，我們身為印刷電路板之上游原材料產業，亦將配合下游的需求，研發符合業界所需的產品。

(二) 製程流程

該廠供應國內、外印刷電路板業及銅箔基板業所需相關種類之電解銅箔，採用最先進之生產設備，主製程在潔淨室生產，以控制銅箔的穩定性，在產品規劃上目前已量產 2oz、1oz、1/2oz、1/3oz 銅箔，同時已開發許多高品質銅箔產品，其製程流程如圖 36 所示。

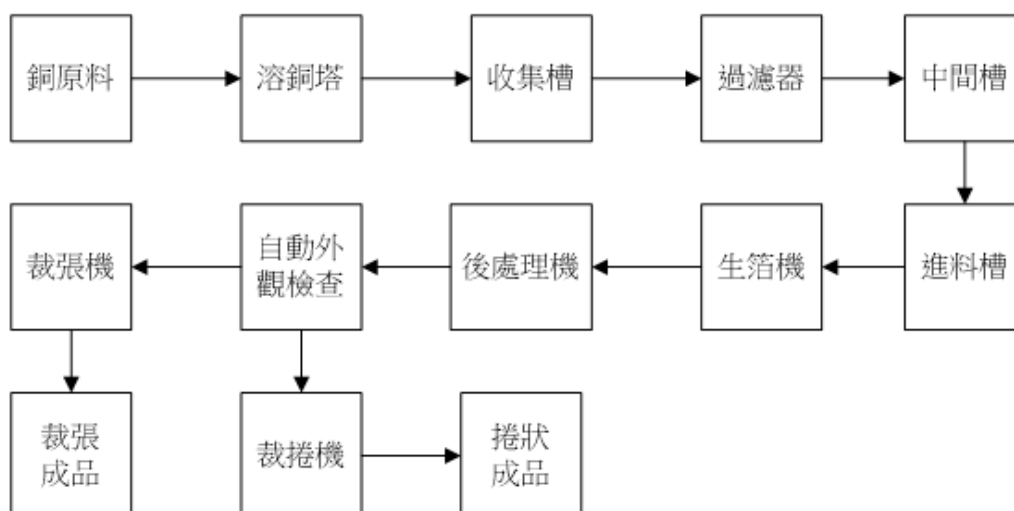
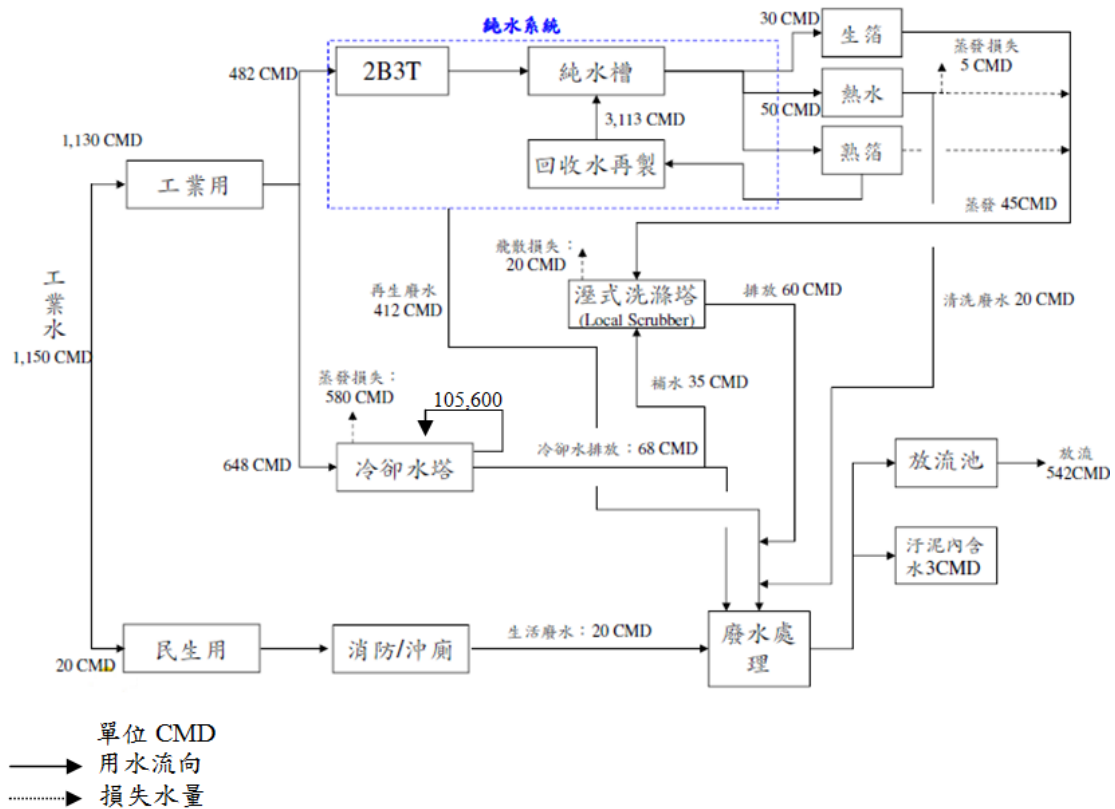


圖 36 案例 A 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

該廠主要以自來水為供水水源，每月用水量約 **1,150 CMD**，提供製程、冷卻及民生用水等，經廢水處理廠自行處理後，排放至工業區污水廠流量約 **542 CMD**，其廠內水平衡圖如圖 37 所示，主要提供製程使用與冷卻水塔使用為大量用水使用。



(四) 用水效率提升方案

依據圖 37 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，針對現況規劃以下水回收方案：

方案一、利用離子交換/UF/RO 系統回收管末廢水

依據廠商所提供之放流水水質分析數據如表 22 所列，建議先行經由離子交換系統去除水中陰、陽離子，再經由 UF/RO 系統處理，其中以 UF 作為 RO 前處理，確保 SDI 值小於 5 以減少 RO 負荷量，預估 RO 產水的導電度值可降低至 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以內；預計回收系統具有 50%產水率約可回收水量約 271 CMD，可將此股回收水導入原水池，提供製程使用或作為冷卻水塔之補水源。

表 22 放流水水質報告表

日期		4 月 10 日	4 月 11 日	4 月 12 日	4 月 13 日	4 月 14 日
水質項目	臨海工業區 水質限值					
溫度 (°C)	40 (max)	28	29.9	29.7	27.3	27
pH	5-9	6.22	5.48	5.27	6.82	6.17
COD (mg/L)	480	51	83	103	91	58
SS (mg/L)	240	1	4	20	4	1
銅 (mg/L)	3.0	1.25	1.38	1.15	0.69	1.21
鋅 (mg/L)	5.0	0.11	0.13	0.16	0.12	0.08
鎳 (mg/L)	1.0	0.37	0.09	0.5	0.09	0.31
總鉻 (mg/L)	2.0	0.08	0.22	0.34	0.19	0.03
砷 (mg/L)	0.5	ND	ND	ND	ND	ND
鉛 (mg/L)	1.0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01

(資料來源：104/04/13 廠內放流水分析數據 (委託元培醫事科技大學環境工程衛生所分析))

水量降至 271 CMD，如圖 38 所示。

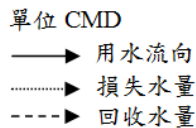


圖 38 案例 A 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

水回收方案預計以廠商現有之設備與條件進行修正與改善，以符合經濟效益之狀況進行規劃。建議之節水措施為利用離子交換/UF/RO 系統回收管末廢水，其管線修改費用請廠內自行評估，因需新增節水設備，因此設施成本費用如表 23 所列。

表 23 水回收設施經費分析表

項目	方案內容	產水量	總建設成本(元)	單位產水成本-建設(元/噸)	單位產水成本-營運(元/噸)	單位產水總成本(元/噸)	年營運成本	產水總成本
		(CMD)					(元)	
方案一	離子交換/UF/RO	271	9,485,000	8	17	25	1,658,520	2,448,936

*設備折抵年限 12 年

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水，目前工業區的自來水價格為 12.5 元/噸，原取水量為 1,150 CMD，經由改善，取水量降低為 879 CMD；臨海工業區納管收費為基本水量約 9.06 元/噸、COD 為 56.17 元/Kg、SS 為 79.96 元/Kg，原排放量為 542 CMD，經由執行各項水回收方案，放流水流量降為 271 CMD，而放流水質預估 SS 約 10 mg/L、COD 約 50 mg/L。經由節水方案實施後，每月可節省自來水費約 101,625 元及污水納管費約 102,992 元的開銷，其經濟效益為 2,455,400 元/年，如表 24 所列。

表 24 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案實施前		方案實施後		節省費用(元/年)
	水量(噸/月)	費用(元/月)	水量(噸/月)	費用(元/月)	
自來水量費	1,150*30 =34,500	34,500*12.5 =431,250	879*30 =26,370	26,370*12.5 =329,625	1,219,500
納管水量費	542*30 =16,260	16,260*9.06 =147,316	271*30 =8,130	8,130*9.06 =73,658	883,896
納管 COD 費	542*30 =16,260	16,260*0.05*56.17 =45,666	271*30 =8,130	8,130*0.05*56.17 =22,833	273,996
納管 SS 費	542*30 =16,260	16,260*0.01*79.96 =13,001	271*30 =8,130	8,130*0.01*79.96 =6,501	78,012
合計	-	637,233	-	432,617	2,455,404

註：1.每月工作天以 30 天計

2.A 廠放流水納管收費水量為 9.06 元/噸、COD 為 56.17 元/公斤、SS 為 79.96 元/公斤

3. 水回收效益分析

目前自來水取水量為 1,150 CMD，排放水量為 542 CMD，經由方案實施後，估計回收水量由 3,193 CMD 提升至 3,464 CMD，自來水取水量可由每日 1,150 噸下降至 879 噸。改善後全廠回收率 R2 可由 73.52% 提升至 79.76%，水回收計算結果如表 25 所列。

表 25 水回收方案實施前後水回收率變化表

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$98.95\% = \left(\frac{3,193 + 105,600}{1,150 + 3,193 + 105,600} \right) \times 100\%$	$73.52\% = \left(\frac{3,193}{1,150 + 3,193 + 0} \right) \times 100\%$
實施後	$99.20\% = \left(\frac{3,464 + 105,600}{879 + 3,464 + 105,600} \right) \times 100\%$	$79.76\% = \left(\frac{3,464}{879 + 3,464 + 0} \right) \times 100\%$
註： 全廠回收率（重複利用率，R1）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}} \times 100\%$ 全廠回收率（不含循環水量，R2）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$		

二、案例 B 廠簡介

(一) 案例廠簡介

B 工業股份有限公司成立於 1987 年，專業從事於研發與生產高品質均熱片、半導體導線架等產品。該公司用水以製程用水占全廠 99% 以上，製程中以清洗廢水與電鍍廢水為用水量較高單元；製程廢水經處理符合放流水標準後排放至承受水體。

(二) 製程流程

金屬製品表面製造程序主要為顯影、蝕刻、水洗、電鍍及測試等步驟，製造流程圖如圖 39 所示，金屬表面處理用水量較大，尤其是在電鍍及水洗製程。

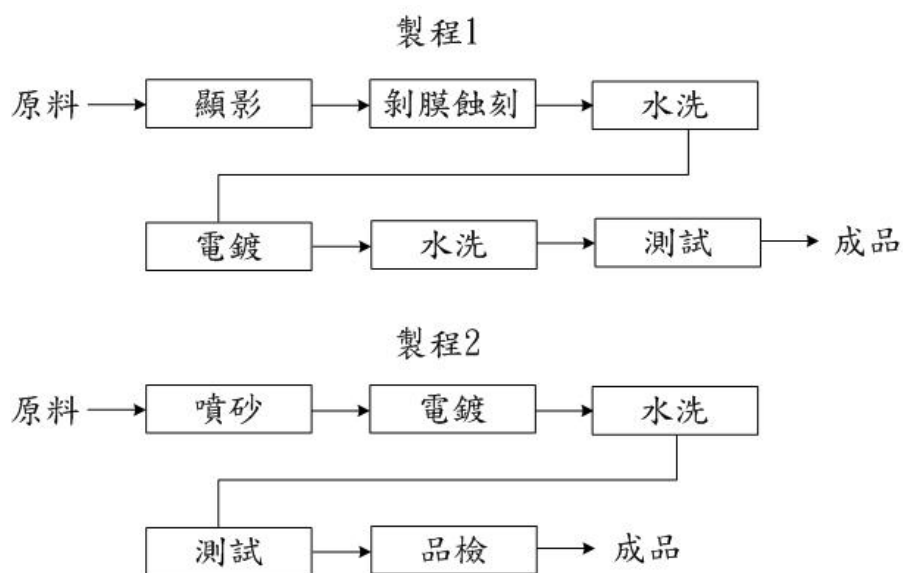


圖 39 案例 B 廠製造流程圖

(三) 廠內用水管理情形

廠內總用水量約 **1,975 CMD**，取得水源為自來水，自來水主要用於製程、純水系統、冷卻水塔、洗滌塔及民生用水為主。此廢水排放量約為 **1,904 CMD**，此廢水經由廠內廢水處理設施處理後排放老街溪，經研討計算後，得知水平衡圖如圖 40 所示。

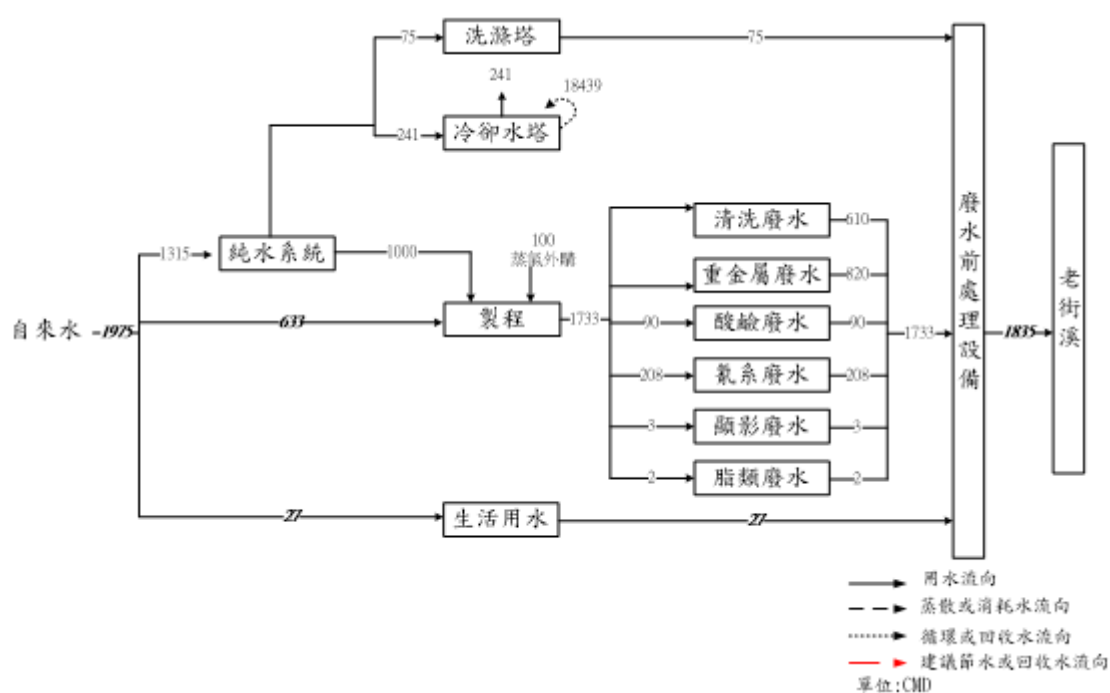


圖 40 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施前）

(四) 用水效率提升方案

依圖 40 之全廠用水平衡圖，經參考節水診斷之結果，可規劃之水回收方案如下：

方案一、管末廢水回收

廠內經污水前處理系統處理後其水量約為 **1,835 CMD**，水質分別為 **COD：12 mg/L**、**SS：17 mg/L** 及導電度：**3,510 μ S/cm**。建議此股廢水以倒極式電透析（**Electrodialysis reversal**，簡稱 **EDR**）進行處理。降低廢水中導電度後，回收至原水端與自來水混合使用或供給其他次級用水，建議可設置處理量 **300 CMD** 之 **EDR** 系統，產水率 **80%**，共計回收 **240 CMD**。

方案二、生活用水減量

由於廠內員工人數約 **330** 人，依據經濟部水利署公布，平均工廠人員每人每日用水量以 **50 L**，住宿人員則約以 **250 L/天**計，廠內生活用水量約為 **27 CMD**，若能經由簡易地設備加裝及正確的節水觀念，方可使用水量減少及避免水資源的浪費，建議以下方式進行節水：

1. 檢討辦公室或宿舍供水壓力之合理性，適切調降用水水壓，降低用水量。
2. 採用省水器材或配件，如加裝省水/感應式水龍頭、二段式馬桶沖水器。
3. 用/控水器材定期巡查、維護、檢漏。
4. 實施員工節水教育宣導。

以上方法可以讓生活用水更有效地被運用，能使不當用水的情形獲得改善，達到節水之目的，預計約可節水 **10 CMD**。



方案三、廠內用水管理

經由節水診斷，可加強該廠對於廠內細部用水量的管理，為幫助該廠人員了解用水流向及用量大小，建議於供水之主幹管，可劃分為製程、民生、冷卻水塔...等管線或用水量大之設備加裝水錶，以了解用水狀況並避免漏水，藉此可適度的調解廠內用水情形。此外，建議於回收水槽加裝水錶，亦可確保回收水用量。

所規劃的水回收方案，可將該廠自來水取水量由原來之 1,975 CMD 降至 1,725 CMD，同時也降低了該廠排放水量，由原排放水量為 1,835 CMD，方案實施後排放量降至 1,585 CMD，如圖 41 所示。

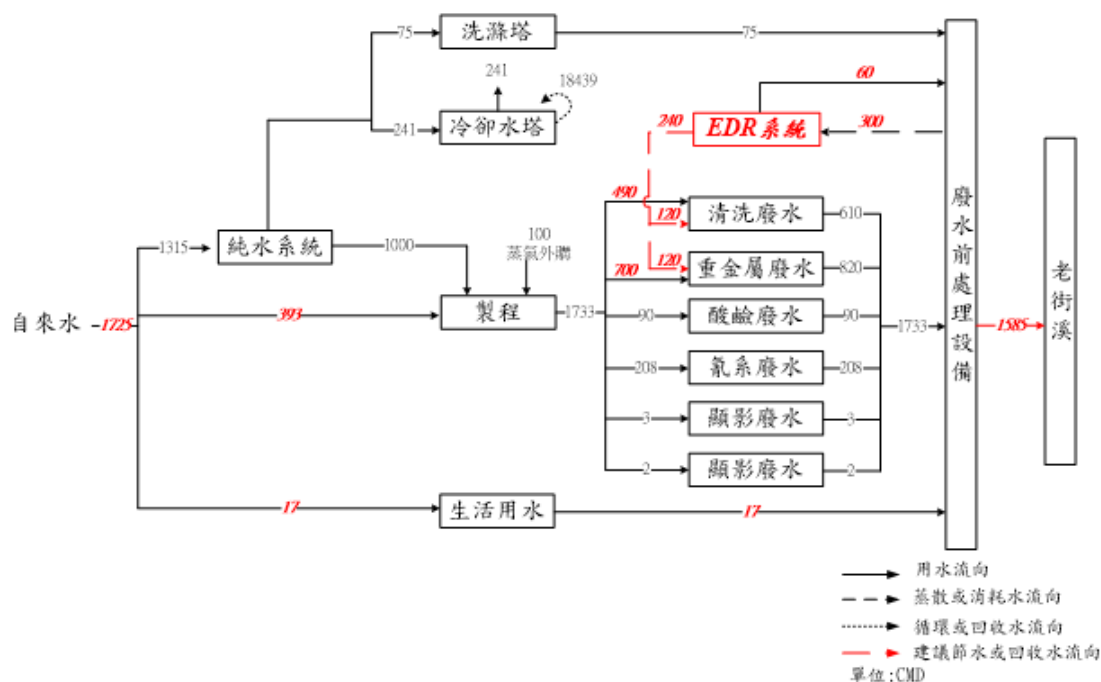


圖 41 案例 B 廠用水平衡圖（方案實施後）

(五) 成本效益分析

1. 方案產水成本分析

所建議之水回收方案，以廠商現有之設備與條件進行修正與改善，以符合經濟效益之狀況進行規劃，建議之節水措施為 **EDR** 系統，若將管線配修費與節水方案建置設備費用一併納入評估，其經費分析如表 26 所列。

表 26 水回收設施經費分析表

項目	方案內容	產水量 (CMD)	總建設 成本(元)	單位產水成本(元/噸)		單位產水 總成本 (元/噸)	營運 成本 (元/年)	產水 總成本 (元/年)
				建設	營運			
方案一	EDR	300	7,500,000	5.71	12.5	18.21	1,368,750	1,933,750
合計			7,500,000	5.71	12.5	18.21	1,368,750	1,933,750

註：1.單位建設成本以折舊年限 12 年估算。

2.每月工作天以 30 天計。

3.EDR 建設費以 7,500,000 元預估，但經費分析結果僅供參考，實際金額仍以工程公司報價為主。

2. 經濟效益分析

廠內使用水源為自來水，目前工業區的自來水價格為 12.5 元/噸，原自來水取水量為 1,975 CMD，排放水量為 18,35 CMD，經節水輔導後，自來水取水量為 1,725 CMD，排放水量為 1,585 CMD，回收前後費用變化如表 27 所列。

表 27 水回收方案實施前後用水量及費用比較表

項目	方案實施前		方案實施後		節省費用 (元/月)	節省費用 (元/年)
	水量 (噸/月)	費用 (元/月)	水量 (噸/月)	費用 (元/月)		
自來水量費	1,975×30 =59,250	59,250×12.5 =740,625	1,725×30 =51,750	51,750×12.5 =646,875	93,750	1,125,000
廢水處理費	1,835×30 =55,050	36,700×8 =293,600	1,585×30 =47,550	31,700×8 =253,600	40,000	480,000
合計	-	787,350	-	684,850	102,500	1,230,000

註：1.每月工作天以 30 天計。

2.自來水水價 12.5 元/噸估算、廢水處理費以 8 元/噸。

3. 水回收率提升分析

該廠原用水量約為 1,975 CMD，排放量約為 1,835 CMD，冷卻循環約為 18,439 CMD，回收水量約為 316 CMD，預計經由實施回收方案，約可增加回收水量 240 CMD，可將回收水量提升為 556 CMD，用水量降低為 1,725 CMD，而排放量降低為 1,585 CMD，改善後全廠回收率 R2 由 13.79% 提高至 24.38%，水回收計算結果如表 28 所列。

表 28 水回收方案實施前後水回收率變化表

項目	全廠水回收率 (R1)	全廠水回收率 (R2)
實施前	$90.47\% = \left(\frac{316+18,439}{1,975+316+18,439} \right) \times 100\%$	$13.79\% = \left(\frac{316+0}{1,975+316+0} \right) \times 100\%$
實施後	$91.67\% = \left(\frac{556+18,439}{1,725+556+18,439} \right) \times 100\%$	$24.38\% = \left(\frac{556+0}{1,725+556+0} \right) \times 100\%$
註： 全廠回收率（重複利用率，R1）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{總循環水量（含冷卻、製程及鍋爐循環）}} \times 100\%$ 全廠回收率（不含循環水量，R2）= $\frac{\text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}}{\text{取水量} + \text{總回收水量} + \text{非冷卻循環水量}} \times 100\%$		

第五章 參考文獻

1. Enviromatch, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
2. MGC Contractors, Inc. · <http://www.mgccontractors.com/microfiltration/>
3. Oasis Engineering & Supplies Sdn Bhd. · http://www.oasis-eng.com.my/products_ct4.asp
4. Research Paper of California Institute of Technology · Kim, C.S. · Increasing Cooling Tower Water Efficiency · 2009
5. SPX Cooling Technologies, Inc · <http://spxcooling.com/products/nc-everest>
6. Logisticon Water Treatment · <https://www.logisticon.com/en/technologies/membrane-filtration>
7. 上海奧德水處理科技有限公司 · http://www.odsh.net/odsh_Product_8947196.html
8. 全澤股份有限公司 · <http://www.molykem.com.tw/fiber2.htm>
9. 行政院主計處，中華民國行業標準分類，2016
10. 佺友股份有限公司 · <http://www.chemyol.com.tw/index.php?do=prod>
11. 承蒲實業 · http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2015/Shihu215/e_02.htm#a09 · 2016
12. 金屬容器基本製造工藝冷沖壓技術 · <https://wenku.baidu.com/view/cdbfbb0116fc700abb68fc8c.html>
13. 唐山聯鼎蒸汽節能技術開發有限公司 · http://www.rebeng123.com/product_view.php?id=18
14. 祐鋒實業股份有限公司 · <http://www.yofong.com.tw/business01.html>
15. 卓峰環境科技有限公司 · <https://www.zhecheng.com.tw/product-detail-1025598.html>
16. 雷銚科技股份有限公司 · <http://www.lasers.com.tw/?f=Methods-Water-Quite>
17. 勝群金屬股份有限公司 · <http://www.winalu.com.tw/tech03.php>

18. 迪埃爾維（上海）流體控制商貿有限公司，冷凝水回收：開放式系統 Vs 封閉式系統，<https://www.tlv.com/global/CN/steam-theory/vented-pressurized-condensate-recovery.html>
19. 盛義實業，冷卻循環水處理裝置 EMIIR SRDEC-CT 提案書，2016
20. 國科會計畫編號 NSC90-2212-E-006-126，邱政勳、謝博丞、林政德，冷卻水塔之節水策略，2005
21. 張文榮，膜技術在廢水回收的應用，<http://www.dow.com/en-us/water-and-process-solutions>，2009
22. 梁德明，薄膜相關新技術用於電導度控制技術及處理成本分析，排放水電導度控制技術講習會，財團法人中技社綠色技術發展中心，2003
23. 莊榮清等，薄膜科技的應用：流體中的最適守門員—微過濾與超過濾，科技大觀園，2008
24. 勞動部，安全衛生自主管理輔導手冊，2006
25. 勞動部，行業指南目錄-金屬製品製造業，2016
26. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，期末報告，2016
27. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2013
28. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2015
29. 經濟部工業局，產業用水效率提升計畫，節水輔導報告，2016
30. 經濟部工業局，下水道系統再生水利用技術參考手冊，2016
31. 經濟部水利署，工業用水量統計報告，2015
32. 經濟部水利署，公共場所節約用水技術手冊，2004
33. 經濟部水利署，節水紀實，2012
34. 經濟部統計處，工業產銷存動態調查，2018
35. 賴建宇，冷卻用水效率提升，產業用水效率提升輔導說明會，2016

金屬製品製造業產業用水最適化及節水技術指引

發行人：經濟部工業局

審查委員：歐陽嶠暉、張添晉、陳見財、台灣區表面處理工業同業公會

編撰：蔡人傑、徐秀鳳、林子皓、陳建璋、鄭湘漣

出版所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

TEL : (02) 2754-1255 FAX : (02) 2704-3753

<https://www.moeaidb.gov.tw>

出版日期：中華民國 108 年 12 月

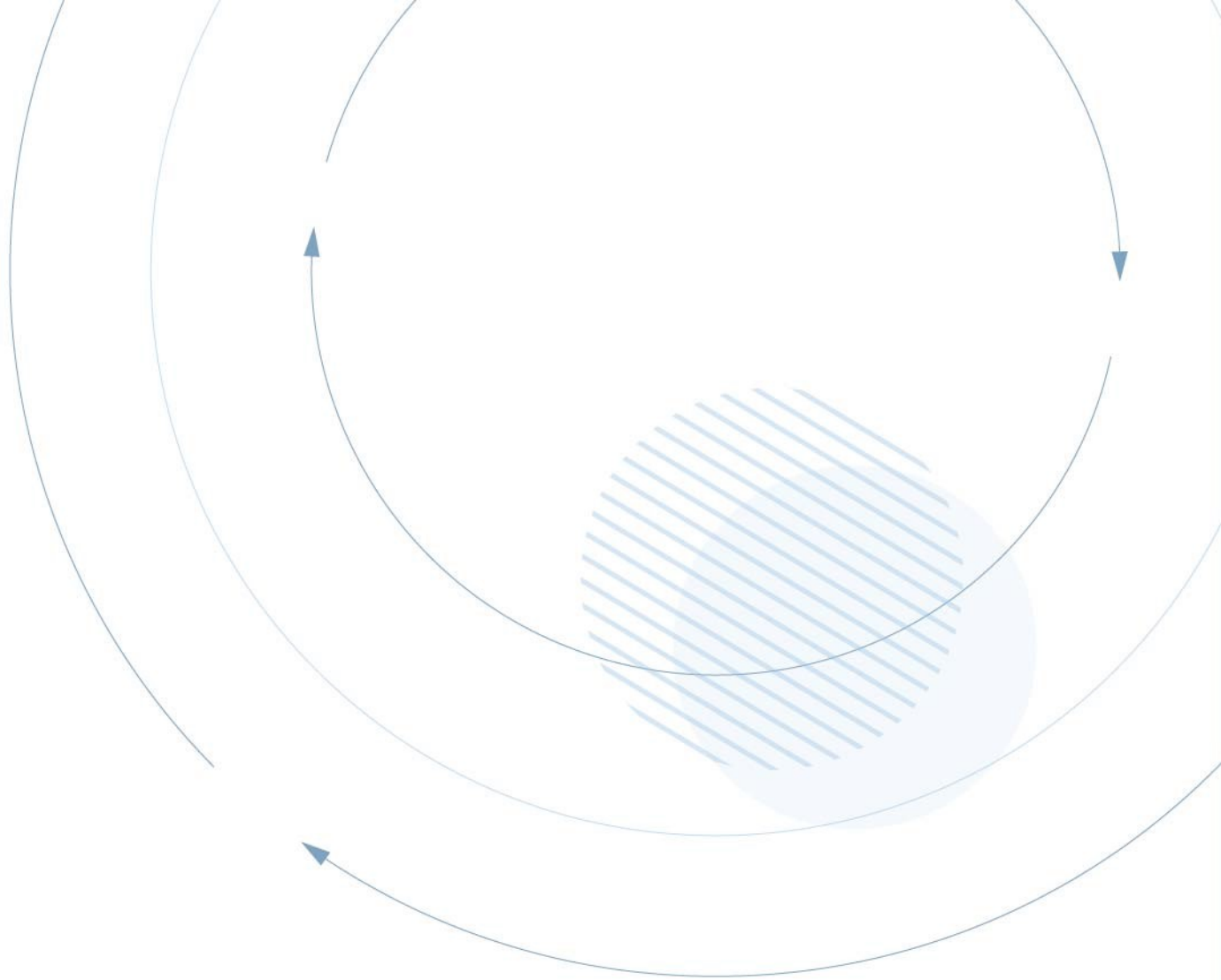
版次：初版



金屬製品製造業產業用水最適化及節水技術指引勘誤表

編號	內容格式錯誤處	頁數	修正後內容格式	頁數	說明

註：
若有需修正內容格式，煩請填寫勘誤表寄至：
財團法人環境與發展基金會
新竹市東區光復路二段 321 號 2 館 507 室



經濟部工業局

INDUSTRIAL DEVELOPMENT
BUREAU, MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS

